

Universidade de Lisboa
Instituto de Geografia e Ordenamento do Território



**Modelação bioclimática do Plano de Pormenor Calçada das Lajes
(Lisboa) em cenários de alterações climáticas**

Andreia Sofia Carvalho Loureiro

Dissertação de mestrado orientada pelo
Prof. Doutor António Manuel Saraiva Lopes e Prof. Doutor Fernando
Jorge Pedro da Silva Pinto da Rocha

Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Modelação
Territorial Aplicados ao Ordenamento

2019

Universidade de Lisboa
Instituto de Geografia e Ordenamento do Território



**Modelação bioclimática do Plano de Pormenor Calçada das Lajes
(Lisboa) em cenários de alterações climáticas**

Andreia Sofia Carvalho Loureiro

Dissertação de mestrado orientada pelo
Prof. Doutor António Manuel Saraiva Lopes e Prof. Doutor Fernando
Jorge Pedro da Silva Pinto da Rocha

Júri:

Presidente: Professor Doutor Paulo Alexandre Morgado Sousa do
Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade
de Lisboa;

Vogais:

- Professor Doutor Marcelo Henrique Carapito Martinho Fragoso do
Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade
de Lisboa
- Professor Doutor António Manuel Saraiva Lopes do Instituto de
Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa

2019

Procura sem a ânsia de ser grande,
Procura sem cessar o que não entendes.
O que não precisas. As sementes dos rostos.
Levanta-te ao encontro da solidão
Honestamente e vã, desenha em ti a podridão,
A podridão do novo como se tudo
Emergisse das ideias confusas da singularidade,
Dos caminhos já trilhados por outros,
Da cegueira da multidão obscena
E sôfrega de sangue virginal.
O que encontramos são murmúrios
Só audíveis a iniciados nas longas procissões
De vagabundos em procura das areias
Escaldantes da nauseabunda e escarlate
Mãe de todas as dores que apoquentam
Os mortos. Murmúrios conspirativos
Renegando o passado perdido atrás das paredes
Transparentes, do oculto transgressor
Rompendo o discurso básico dos profetas.
Enigma de antanho onde a memória
Emerge dos pés mergulhados em brasas
Inferiores ao mundo, dos beijos entregues em cerimónias
De esquecimento, transformando risos
Alarves e cruéis em rostos orgulhosos
De cadáveres possuídos pelo medo
Das convulsas tardes que te
Arrastam até ao fim das sombras
Do desejo.

Vítor Gil Carneira, *Sombras do Desejo*

Agradecimentos

Ao longo do percurso desta dissertação, existem pessoas que me marcaram e a elas tenho muito que agradecer.

Primeiramente, o meu muito obrigada vai para o Professor António Lopes que fez muitas vezes com que não desistisse deste projeto, apesar de todos os contratempos que ocorreram e de todas as dificuldades que existiram para chegar a resultados finais. Não menos agradecida estou em relação, ao Professor Fernando Jorge Rocha, que me ajudou nas partes técnicas de SIG e que foi essencial também para o desenvolvimento desta dissertação.

Deixo aqui também o meu agradecimento ao Departamento Urbanístico da Divisão do Planeamento Territorial da Câmara Municipal de Lisboa, que forneceu toda a informação do Plano de Pormenor Calçada das Lajes e que demonstrou interesse para que esta dissertação com este tema fosse realizada.

Ao meu namorado, Rafael Carneira, o meu grande agradecimento por tudo. Pela persistência em fazer-me crer nas minhas capacidades, que eu iria conseguir chegar ao fim desta dissertação sem desistir, realizando os meus objetivos. Obrigada por estares lá nos bons e maus momentos para me dares a mão.

À minha família, obrigada por tudo, por não me deixarem desistir e apoiarem-me sempre, seja qual fosse a minha escolha.

Às minhas amigas, que não irei numerar, pois sabem quem são, o meu muito obrigada, sem vocês não seria possível ter chegado onde cheguei.

A todos o meu muito obrigada.

Resumo

A expansão das grandes áreas urbanas e o aumento de população residente nas cidades levou a mudanças significativas nos climas urbanos, o que não foi exceção na cidade de Lisboa. No entanto, a desordenada expansão da sua área metropolitana tem trazido impactes negativos em termos ambientais (Alcoforado *et al.*, 2005). Para identificar os impactes negativos é essencial realizar estudos bioclimáticos, que demonstrem claramente as implicações que decorrem da implantação de novas áreas edificadas e impermeáveis.

Os estudos do conforto térmico à microescala são cada vez mais essenciais, numa época em que as alterações climáticas acarretam incertezas. Torna-se assim necessário projetar o futuro climático nas áreas urbanas e encontrar medidas de que atenuem os efeitos negativos, tanto para a saúde da população, como para o conforto humano.

Esta dissertação foi desenvolvida com a colaboração da Câmara Municipal de Lisboa, que cedeu a informação de base territorial da área de estudo, o Plano de Pormenor Calçada das Lajes. Tem como principal objetivo avaliar o conforto térmico atual sentido pelos indivíduos na Calçada das Lajes e envolvente (utilizando dados de 2018) e para o futuro, projetando para 2070-2100, através do RCP 8.5 (cenário climático mais severo do IPCC), tendo em consideração o aumento previsto da temperatura e modificações de vento e humidade devido às alterações climáticas projetadas para a região de Lisboa. Para realizar a modelação microclimática do conforto térmico foi escolhido o software ENVI-met e Biomet, que são os mais adequados para representar fisicamente a área em estudo. Foi ainda utilizado o índice UTCI (*Universal Thermal Climate Index*), que é um dos mais utilizados recentemente para estudar o conforto térmico humano.

Os resultados obtidos demonstram que atualmente, para um cenário de regime de brisa do Tejo, a meio do dia existe uma amplitude elevada da temperatura entre o edificado 36°C (valor máximo) e os 18°C (valor mínimo). Os valores mais elevados de

UTCI ocorrem junto aos edifícios onde a circulação do ar é mais dificultada, com o conforto térmico sentido pelos indivíduos a ser classificado como “stresse com calor elevado”. Os locais bem arejados e junto a áreas verdes foram classificados “sem stresse térmico”.

Com o cenário futuro severo (RCP 8.5), no final do século XXI (2070-2100), em regime de nortada, o UTCI varia entre 33,3°C e 33,7°C numa área limitada dentro do bairro analisado (stresse por calor elevado”). Já para o cenário com regime de brisa do Tejo, os valores de UTCI os valores são mais reduzidos (30,6°C a 31,1°C), o que corresponde a “stresse por calor moderado”. Estes resultados mostram a importância dos sistemas de brisa nos locais da cidade junto ao Tejo e a necessidade absoluta de não impedir a progressão da advecção de ar mais fresco com construções densas e paralelas à linha de costa.

Palavras-chave: Clima Urbano; Conforto Térmico Humano; Alterações Climáticas; Plano de Pormenor da Calçada das Lajes; UTCI.

Abstract

The expansion of large urban areas and the increase in city resident population led to significant changes in urban climates, which was no exception in Lisbon. However, the disorderly expansion of its metropolitan area has brought indeclinable negative environmental impacts (Alcoforado et al. 2005). To identify negative impacts, it is essential to perform bioclimatic studies.

Studies of microscale thermal comfort are becoming increasingly essential in a time where climate change involves so many uncertainties. It is therefore necessary to project the future climate in urban areas and to find measures that mitigate the negative effects on both population health and human comfort.

This dissertation was developed with the collaboration of the Lisbon City Council, which provided the territorial base information of the study area, the Detailed Plan of Calçada das Lajes. Its main objective is to evaluate the current thermal comfort felt by individuals in the area (using data from 2018) and for the future, projecting for 2070-2100, through RCP 8.5 (IPCC severe climate scenario), considering the expected rise in temperature and wind and humidity changes due to climate change projected for the Lisbon region.

To perform microclimatic modeling of thermal comfort, the software ENVI-met and Biomet were chosen, which are the most suitable to physically represent the area under study. The Universal Thermal Climate Index (UTCI) was chosen, one of the most recently used indexes to study human thermal comfort.

The results show that currently, for a Tagus breeze regime scenario, at midday there is a high amplitude between the built 36 ° C (maximum value) and 18 ° C (minimum value). The highest UTCI values occur near buildings where air circulation is most difficult, with the thermal comfort felt by individuals being classified as “high heat stress”. The well-ventilated and green areas were classified as “no thermal stress”.

With the harsh future scenario (RCP 8.5) at the end of the 21st century (2070-2100), in a northerly regime, the UTCI ranges from 33.3°C to 33.7°C in a limited area within the neighborhood analyzed (“high heat stress”). For the Tagus breeze scenario, the UTCI values are lower (30.6 ° C to 31.1 ° C), which corresponds to “moderate heat stress”. These results show the importance of breeze systems on the city near Tagus and the absolute need to not impede the progression of fresh air advection with dense buildings parallel to the coastline.

Keywords: Urban climate; Thermal comfort; Climate change; Detailed Plan of Calçada das Lajes; UTCI

Índice

Agradecimentos	iii
Resumo	v
Abstract	vii
Lista de Figuras	xi
Índice de Tabelas	xi
Capítulo I - Introdução	15
1.1 Relevância do tema	15
1.2 Enquadramento e caracterização da área de estudo	18
1.3 Objetivos e estrutura da dissertação	22
Capítulo II – Conforto Térmico e Alterações Climáticas na cidade de Lisboa	25
2.1 Clima de Lisboa	25
2.1.1 A Ilha de Calor urbano (ICU)	26
2.1.2 A nortada na cidade de Lisboa	27
2.1.3 A importância das brisas para o clima na cidade de Lisboa	29
2.2 Bioclimatologia humana	31
2.2.1 O Balanço energético do corpo humano	32
2.2.2 Índices térmicos utilizados para o estudo da bioclimatologia humana	36
2.2.3 Índice UTCI	38
2.3 Conforto térmico	41
2.4 Alterações Climáticas projetadas para Lisboa até 2100	46
Capítulo III – Metodologia e dados	51
3.1 O Plano Pormenor da Calçada das Lajes	51
3.2 Dados utilizados	54
3.3 Modelação ambiental microclimática (ENVI-met)	59
Capítulo IV – Apresentação e discussão dos resultados do conforto termofisiológico (UTCI)	71
4.1 Análise da situação atual (2018) com brisa do Tejo a meio do dia	71
4.2 Análise de resultados do UTCI para o futuro: RCP 8.5 (2070-2100)a meio do dia	72
4.2.1 Regime de nortada	72
4.2.2 Regime de brisas do Tejo	73
Capítulo IV – Conclusões	75
Bibliografia	77
Anexo	86

Lista de Figuras

Figura 1 – Localização geográfica da cidade de Lisboa	19
Figura 2 – Localização da área em estudo – PP Calçada das Lajes	21
Figura 3 – Situação sinóptica de superfície favorável à ocorrência da nortada em Portugal Continental	28
Figura 4 – Esquema representativo do desenvolvimento de brisas de mar e de terra	30
Figura 5 – Esquema do cálculo do UTCI a partir de um modelo termofisiológico, com auxílio de um modelo de vestuário	39
Figura 6 – Escala de sensação térmica, segundo Hensel	43
Figura 7 – As principais alterações climáticas projetadas para o município de Lisboa até ao final do século	50
Figura 8 – Modelo de ocupação previsto da Unidade Espacial 1	53
Figura 9 – Modelo de ocupação previsto da Unidade Espacial 2	53
Figura 10 – Esquema-síntese da análise metodológica	55
Figura 11 – Espacialização dos espaços verdes e edificado na cidade de Lisboa	56
Figura 12 – Modelo digital de terreno da cidade de Lisboa	56
Figura 13 – Localização das estações meteorológicas utilizadas	58
Figura 14 – Representação do modelo em 3D para a situação atual	61
Figura 15 – Representação da parcela do modelo 3D utilizado para a modelação do cenário futuro	61
Figura 16 – Temperatura do ar (°C) atual e futura (2070-2100), condição representativa da nortada	63
Figura 17 – Humidade Relativa (%) atual e futura (2070-2100), condição representativa da nortada	63
Figura 18 – Temperatura do ar (°C) atual e futura (2070-2100), condição representativa da brisa	64
Figura 19 – Humidade Relativa (%) atual e futura (2070-2100), condição representativa da brisa	64
Figura 20 – Variáveis para o modelo de entrada para cálculo do UTCI no <i>Biomet</i>	65
Figura 21 – Temperatura do ar (°C) às 14h no dia 27-08-2018 (brisas do Tejo)	66

Figura 22 – Temperatura radiativa média (°C) às 14h no dia 27-08-2018 (brisas do Tejo)	66
Figura 23 – Humidade relativa (%) às 14h no dia 27-08-2018 (brisas do Tejo)	67
Figura 24 – Velocidade do vento (m/s) às 14h no dia 27-08-2018 (brisas do Tejo)	67
Figura 25 – Temperatura do ar (°C) no cenário futuro RCP 8.5 (2070-2100) (nortada)	68
Figura 26 – Humidade Relativa (%) no cenário futuro RCP 8.5 (2070-2100) (Nortada)	68
Figura 27 – Velocidade do vento (m/s) no cenário futuro RCP 8.5 (2070-2100) (Nortada)	69
Figura 28 – Temperatura do ar (°C) no cenário futuro RCP 8.5 (2070-2100) (brisas do Tejo)	69
Figura 29 – Humidade Relativa (%) no cenário futuro RCP 8.5 (2070-2100) (brisas do Tejo)	70
Figura 30 – Velocidade do vento (m/s) no cenário futuro RCP 8.5 (2070-2100) (brisas do Tejo)	70
Figura 31 – UTCI para o cenário atual com regime de brisas	72
Figura 32 – UTCI para o cenário futuro (2070-2100) com regime de nortada	73
Figura 33 – UTCI para o cenário futuro (2070-2100) com regime de brisas	74

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Componentes da equação de balanço energético	34
Tabela 2 – Isolamento Térmico proporcionado por alguns tipos de vestuário em <i>Clo</i>	35
Tabela 3 – Respostas termofisiológicas estimadas do modelo termofisiológico após tempo de exposição de 30 a 120 min	39
Tabela 4 – Escalas de Stress Térmico do UTCI	41
Tabela 5 – Software utilizado e respetiva finalidade	59
Tabela 6 – Características do modelo 3D completo no <i>ENVI-met</i>	60
Tabela 7 - Condições iniciais para a modelação no <i>ENVI-met</i>	62

Capítulo I - Introdução

1.1 Relevância do tema

Em anos recentes, tem vindo a verificar-se cada vez mais um aumento das áreas urbanas, registando-se atualmente uma expansão de aproximadamente 78% nas cidades europeias, incluindo Portugal (EEA, 2006 cit. em MAOTE, 2015). A expansão das grandes áreas urbanas e o aumento de população residente nas cidades levou a mudanças significativas nos climas urbanos, o que não foi exceção na cidade de Lisboa. No entanto, a desordenada expansão da sua área metropolitana (e dos limites da própria cidade), tem trazido impactes negativos inegáveis em termos ambientais (Alcoforado *et al.* 2005). Para identificar os impactes negativos é essencial realizar estudos bioclimáticos, que mostrem a interação do Homem com o ambiente, para que possa ser possível mitigar alguns desses impactes sentidos. Como é o caso desta dissertação que irá estudar o conforto térmico humano através do Universal Thermal Climate Index (UTCI) que representa a resposta fisiológica do corpo humano em qualquer local, de acordo com as características meteorológicas observadas, prevendo os o conforto termofisiológico do corpo humano de acordo com as condições em que se encontra (Nascimento, 2018).

O conforto térmico começou inicialmente a ser estudado devido à necessidade da climatização de interiores, principalmente por parte de empresas de sistemas de ar condicionado que pretendiam compreender quais as características necessárias para que os indivíduos se pudessem sentir confortáveis, levando a que grande parte dos estudos sobre o conforto térmico acabassem por focar-se nos ambientes climatizados ou nos próprios edifícios. Destes estudos realizados primeiramente, retirou-se que as condições térmicas estáveis verificadas estavam intimamente ligadas à proximidade da sensação de conforto térmico, assim como da neutralização da sensação térmica, sendo que as variáveis principais que mais alteravam o conforto estavam relacionadas com o balanço de energia entre o corpo e a atmosfera (Andrade, 2003).

O conforto térmico humano, tema focal nesta dissertação, começou a ser mais estudado nos últimos anos do século XX, levantando inicialmente algumas dúvidas, principalmente no que diz respeito à dificuldade de compreensão das diferenças entre sensação térmica e conforto térmico, sendo que Rohles (1974), De Freitas (1985) e Parsons (1993) cit. em Andrade (2003) afirmaram que a sensação térmica corresponde à identificação do estado térmico dos termorreceptores e não, como se possa pensar, sobre a percepção direta do ambiente físico, enquanto o conforto térmico, segundo a definição da ASHRAE (Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado) é o estado mental que expressa satisfação com o ambiente térmico. Esta definição evidencia o carácter essencialmente psicológico do fenómeno, tendo assim como base a percepção mental dos indivíduos em relação à sensação térmica (Parsons, 1993). O estado de conforto/desconforto térmico que possa ser sentido resulta da combinação muito complexa entre diversas variáveis, sendo condicionado por parâmetros fisiológicos (temperatura média da pele, temperatura interna e a humidade da pele (Höppe, 1988), mas também por fatores pessoais, como o comportamento, a história térmica (aclimatização de determinado ambiente), o humor, a percepção do ambiente envolvente e expectativa térmica (Kalkstein e Valimont, 1986; Auliciems e De Dear, 1997 e Cadima, 2000 cit. por Andrade, 2003).

Em Portugal, os primeiros estudos sobre o conforto térmico humano no exterior, foram iniciados por Maria João Alcoforado e Henrique Andrade, aplicando o seu estudo à cidade de Lisboa. Estes autores analisaram o clima urbano da cidade e incidiram os seus estudos à microescala, nomeadamente no bairro de Telheiras (Andrade e Alcoforado, 2008).

Estudar a relação do conforto térmico e o impacte das alterações climáticas, numa época marcada pela necessidade de estudar e mitigar os seus efeitos, é essencial. O ser humano tem-se deparado com diversas dificuldades na percepção e mitigação das alterações climáticas, muito devido à incerteza das projeções. Têm sido feitos diversos estudos com o intuito de projetar o futuro em relação às alterações dos componentes

climáticos, como é o caso da temperatura do ar (°C) e a humidade relativa (%), parâmetros esses, essenciais para o conforto térmico humano. Segundo o relatório mais recente do IPCC (Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas), onde desenvolveram o *Fifth Assessment Report* (AR5), o Homem e a sua influência no sistema climático é indiscutível, sendo que nas últimas décadas foi registado um elevado aumento das emissões de gases com efeito de estufa (GEE) que contribuíram para o aumento das temperaturas do ar. Segundo as projeções feitas pela organização, é esperado um aumento da temperatura global, em média, entre 1,5°C e 5°C, relativamente ao período de 1850-1900. Nestas projeções apresentadas, espera-se ainda que os episódios de onda de calor ocorram cada vez mais com maior frequência e com maior duração (IPCC, 2014).

No entanto, grande parte dos seus estudos têm-se focado na escala global, e pouco se sabe sobre os aumentos projetados à microescala, ou seja, em áreas da cidade mais pequenas e que possam ser, por vezes mais expressivas em relação à perceção do conforto térmico humano e dos impactes causados pelas alterações climáticas.

Dada a necessidade de conhecer os efeitos das alterações climáticas urbanas na cidade de Lisboa, este estudo pretende centrar-se, sobretudo, na necessidade, cada vez mais sentida, de avaliar quais as condições que proporcionam um bem-estar humano satisfatório, ou seja, perceber se os indivíduos apresentam características de conforto térmico ou “stress” térmico, modelando os resultados e conjugando este estudo com as alterações climáticas previstas.

Este estudo tem como contexto temporal a situação atual e projeções para 2070-2100 com o cenário RCP 8.5, do *Fifth Assessment Report* (AR5), IPCC (2014), pois existe cada vez mais a preocupação com os efeitos temporais das alterações climáticas e torna-se essencial perceber quais as consequências do aumento previsto das temperaturas, ou até mesmo da diminuição prevista de precipitação, pretendendo formular propostas que ajudem a combater as mudanças verificadas à microescala, neste caso na área de estudo Calçada das Lajes, na cidade de Lisboa, numa zona oriental da cidade,

predominantemente uma área habitacional, partindo como base da situação atual na área de estudo e realizando a mesma análise para uma prospeção futura, utilizando as alterações previstas no Plano de Pormenor desta área, sendo esta dissertação feita em colaboração com a Câmara Municipal de Lisboa, tentando ao máximo combater os impactes dessas alterações no conforto térmico humano.

1.2 Enquadramento e caracterização da área de estudo

A cidade de Lisboa (figura 1) localiza-se na faixa ocidental de Portugal Continental, com uma latitude de aproximadamente 38° 44' N e uma longitude de 9° 8' W (MCT, 1999), tendo uma posição geográfica bastante diferenciada, pois encontra-se na margem ocidental da Península Ibérica, junto ao litoral, a cerca de 30 km do Oceano Atlântico e na margem norte do estuário do Tejo (Morais, 2011).

Apresenta características topográficas particulares, onde se destaca a Serra de Monsanto, com altitudes acima dos 200m. A este encontra-se o designado “Planalto de Lisboa” onde as altitudes vão dos 80 a 100m, sendo que esses valores vão decrescendo na direção do rio Tejo. A Norte, existem alguns vales largos, como o do Campo Grande, da Avenida Gago Coutinho e de Benfica (Matias, 2018), no entanto com a aproximação ao rio, a superfície começa a mostrar-se mais acidentada por vales estreitos e encaixados, com orientação norte-sul (Andrade, 2003). Já a sul, junto ao estuário do Tejo, o relevo é acidentado e com alguns interflúvios, mas as suas altitudes não ultrapassam os 100m (Alcoforado, 1993).

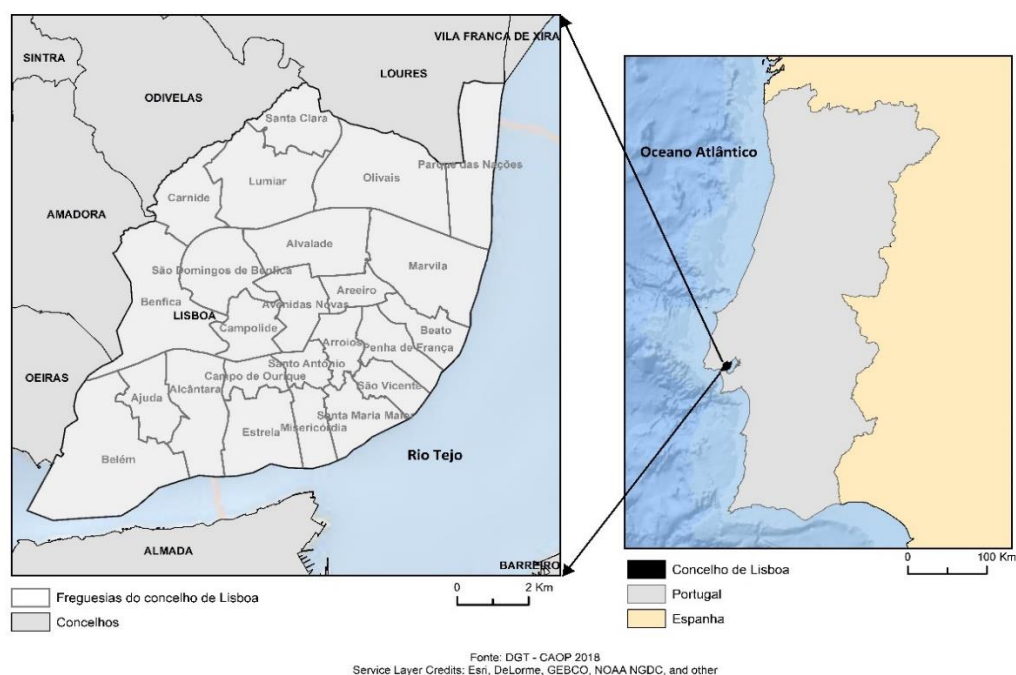


Figura 1 – Localização geográfica da cidade de Lisboa

No que diz respeito à morfologia urbana de Lisboa, esta é heterogênea, resultante das várias fases de crescimento urbano da cidade, conseguindo identificar-se o modo e a época em que foram construídas.

A norte da cidade, junto ao Tejo, encontra-se, o núcleo central mais antigo, desenvolvido em torno da colina original amuralhada, que subsiste até aos dias de hoje. Aqui existe uma ocupação densa e que se expandiu extramuros, para sul (Alfama) até à atual Baixa (Morais, 2011; Matias, 2018). Posteriormente, prolongou-se para as superfícies planálticas contíguas, para os bairros históricos de Alfama, Castelo, Graça e Mouraria. O seu tecido urbano, evidencia nitidamente, a influência da topografia acidentada, apresentando uma malha urbana irregular, com as ruas de traçado apertado e bastante sinuoso e onde a densidade de construção é muito elevada (Morais, 2011; Salgueiro, 2001 cit. por Baltazar, 2010). Após o terramoto de 1755 existiu uma renovação do traçado urbano, passando a retilíneo, de ruas alinhadas, caracterizado por ruas longitudinais norte/sul e transversais este/oeste (Matias, 2018; Morais, 2011).

Na primeira metade do século XIX, existiu em Lisboa um alargamento relevante do território, sendo caracterizado esse desenvolvimento principalmente pela abertura das Avenidas da Liberdade e Almirante Reis. A expansão da cidade passou então a fazer-se para norte, a partir da Baixa para o “Planalto de Lisboa”, alterando-se assim a forma da cidade para uma estrutura radiocêntrica (Morais, 2011; Matias, 2018; Lopes, 2003).

Após a 2ª Guerra Mundial, deu-se a construção ao longo de eixos de saída e entrada na cidade em direção a norte, como Queluz, Mafra, Porto e Sintra, demonstrando assim a influência da topografia na expansão urbana, uma vez que estas vias de comunicação se desenvolveram, essencialmente, ao longo de vales.

Já no fim do século XX, surgiram novas urbanizações nas áreas mais periféricas de Lisboa, como o Bairro de Telheiras, a urbanização do Alto do Lumiar e, a oriente, o Parque das Nações. Noutros concelhos limítrofes de Lisboa, como Oeiras, Amadora, Loures e Sintra e Cascais também surgiram novas urbanizações, influenciadas pela criação de vários outros eixos de saída e entrada na cidade, formando assim um contínuo urbano (Morais, 2011; Matias, 2018).

De uma forma geral pode-se afirmar que o crescimento urbano da cidade de Lisboa depois dos anos 70 do século passado foi feito de forma não planeada (Lopes, 2003), que indica que o crescimento urbanístico recente tem sido feito de forma desajustada, sem que tenha sido feito um planeamento prudente com vista às consequências ambientais que daí podem resultar.

Tal como foi indicado anteriormente esta dissertação incide no Plano Pormenor da Calçada das Lajes e área envolvente, tendo como principal interesse estudar os impactes que as alterações previstas no PP terão no microclima local e projetar, segundo as alterações climáticas previstas da temperatura e humidade para 2070-2100, tendo como base as alterações climáticas, usando o cenário climático RCP 8.5 (IPCC, 2013).

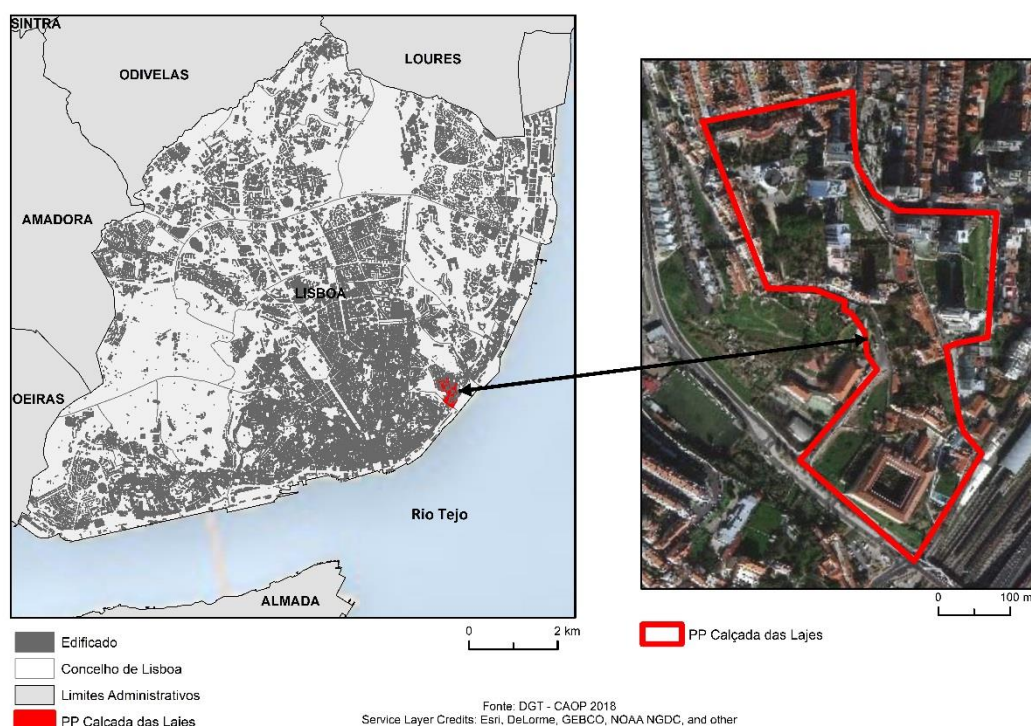


Figura 2 – Localização da área em estudo – PP Calçada das Lajes

Como pode ser observado na figura 2, a Calçada das Lajes encontra-se situada na zona oriental de Lisboa, pertencendo à freguesia da Penha de França, uma das freguesias da cidade de Lisboa, com uma área de intervenção de cerca de 12,3 ha. Esta área está delimitada a Norte pela Rua Adolfo Coelho, a Nordeste pela Avenida Afonso III, a Este pela Rua do Forte de Santa Apolónia, Calçada das Lajes e Calçada da Cruz de Pedra, a Sul pela Avenida Mouzinho de Albuquerque, a Sudoeste pela Rua Matilde Rosa Araújo e Rua do Alto do Varejão e a Oeste pela Rua Lopes. Está enquadrada por duas vias importantes (Avenidas Mouzinho de Albuquerque e Afonso III) que se desenvolvem paralelamente, no sentido Sul-Norte, confluindo ambas na Praça Paiva Couceiro, bastante afastadas do limite da área de estudo (PP Calçada das Lajes, 2010). Estando na zona oriental de Lisboa é principalmente caracterizada por ser uma área de construção média (Alcoforado *et al.*, 2005) predominantemente habitacional e com antigas áreas industriais, na sua maioria devolutas, com franca potencialidade e com características favoráveis em relação à sua exposição, pois encontra-se junto ao Rio Tejo. Nos últimos anos foi uma das principais zonas da cidade de Lisboa a sofrer modificações, não só

devido à expansão urbana, mas também devido à requalificação das áreas devolutas, tendo o exemplo da construção da EXPO 98, marco bastante significativo do fim do século XX, não só em termos económicos, mas também devido ao desenvolvimento da cidade e à construção em altura.

1.3 Objetivos e estrutura da dissertação

Após a apresentação da relevância do tema é essencial realçar os objetivos desta dissertação para a qual se pretende obter respostas e soluções de mitigação para possíveis situações de calor excessivo. Com o objetivo geral pretende-se avaliar o conforto térmico sentido pelos indivíduos na Calçada das Lajes e envolvente, atualmente, utilizando dados de 2018 e para o futuro, projetando para 2071-2100, através do RCP 8.5 (cenário climático mais severo), tendo em consideração o aumento previsto da temperatura e modificações de vento e humidade devido às alterações climáticas e ao aquecimento global.

Já como objetivos específicos pretende-se identificar:

- i) quais são os fatores que influenciam o conforto térmico humano (a partir da temperatura do ar, humidade relativa, temperatura radiativa média, ventilação, etc.) na área de intervenção do futuro Plano de Pormenor da Calçada das Lajes;
- ii) perceber qual a relação entre a evolução da temperatura e as alterações verificadas no índice UTCI no conforto térmico fisiológico;
- iii) mostrar o interesse e a necessidade da modelação tridimensional no processo de planeamento e perceber se as alterações previstas por parte do PP na área de estudo terão influência na alteração dos parâmetros que englobam o conforto térmico;
- iv) Avaliar a situação atual (2018) e as modificações para um cenário futuro (2071-2100);
- v) propor medidas que melhorem o conforto térmico sentido pelos indivíduos na Calçada das Lajes e envolvente e que possam atenuar os efeitos esperados pelas alterações climáticas previstas para o final do século.

No que diz respeito à estrutura desta dissertação, começa inicialmente (Capítulo I) pela apresentação da relevância do tema, pelo enquadramento da área em estudo, passando para os objetivos, de seguida passa para a fase de enquadramento teórico do tema (Capítulo II), começando por explicar o clima de Lisboa, passando para a bioclimatologia, essencial neste estudo, de seguida o conforto térmico humano e a perceção do conforto térmico e respetivo conforto térmico em Lisboa e por fim, as alterações climáticas projetadas para Lisboa. Depois de uma fase mais teórica, apresenta-se a metodologia utilizada (Capítulo III), e o Plano de Pormenor da Calçada das Lajes. De seguida, são apresentados os dados utilizados e a modelação através do programa ENVI-met 4.3.3 para construir o modelo ambiental e calcular o índice UTCI. Por último (Capítulo IV), serão apresentados e discutidos os resultados obtidos e feitas as respetivas conclusões e propostas de mitigação para os impactes previstos (Capítulo V).

Capítulo II – Conforto Térmico e Alterações Climáticas na cidade de Lisboa

2.1 O Clima de Lisboa

A localização da cidade de Lisboa, apesar da proximidade ao oceano Atlântico, é bastante peculiar no que diz respeito ao “abrigo” face aos ventos dominantes, dificultando assim a penetração da influência marítima de ocidente (Andrade, 2003). Algo que demarca o clima de Lisboa, que é de tipo mediterrâneo, caracterizado pela moderação térmica, onde existem duas estações térmicas bem demarcadas: o Verão quente e seco e um Inverno, com temperaturas mais baixas e chuvoso (Baltazar, 2010). As principais características do clima da região de Lisboa, estudadas por diversos autores, como por exemplo Alcoforado (1992), dependem de fatores geográficos regionais, como a latitude e a proximidade do oceano, como já foi descrito por Andrade (2003), levando a que a cidade apresente uma amenidade térmica, com a temperatura máxima média em Julho de 27,4°C em Lisboa/Gago Coutinho e a mínima média de Janeiro 8,2°C e com um regime de ventos demarcado por uma elevada frequência de ventos de Norte e Noroeste (Lopes, 2003; Alcoforado *et al.*, 2005).

Existem outros dois fatores que condicionam o clima de Lisboa, tanto à escala mesoclimática, como às escalas local e microclimática, sendo eles: a topografia acidentada da cidade e a sua posição “à beira-Tejo” (Alcoforado, 1987; Alcoforado, 1992b; Andrade, 2003 cit. Alcoforado *et al.*, 2005). Numa escala local e microclimática, o clima urbano é principalmente condicionado pelas modificações das características físicas da cidade, nomeadamente a morfologia urbana (Alcoforado *et al.*, 2005).

Um dos aspetos mais estudados no clima urbano, não só para a cidade de Lisboa, é a Ilha de Calor Urbano (ICU), sendo que esse estudo para além do interesse que tem cientificamente, veio demonstrar como a ICU tem implicações para o conforto e para a saúde dos cidadãos, como no consumo de energia e água e para a qualidade do ar. No clima urbano, outro estudo importante e que se destaca, é sobre as condições de

ventilação das cidades, que destacam a importância dos ventos para o campo térmico urbano, mas também para a qualidade do ar (Alcoforado *et al.*, 2005).

2.1.1 A Ilha de Calor Urbano (ICU)

A Ilha de Calor Urbano (ICU), segundo Oke (1995), é o exemplo mais visível de uma modificação climática induzida pelo Homem. É um dos temas da climatologia urbana mais estudado nos últimos anos porque tem ocorrido em praticamente em todas as cidades do mundo e é resultado da conjugação das modificações feitas na cobertura do solo, e da composição da atmosfera, devido sobretudo ao desenvolvimento urbano e às atividades antrópicas (Alcoforado *et al.*, 2005).

A ICU é vista por muitos, como um potencial para as cidades porque faz com que a temperatura na cidade não diminua tanto, reduzindo o consumo excessivo de energia no Inverno e, por outros, como uma limitação, pois leva ao consumo extra de energia para refrigerar os ambientes, tendo custos elevados (Lopes, 2003).

A utilização do termo de ilha de calor urbano surgiu na literatura científica inglesa no final dos anos 50 do século XX (Landsberg, 1981 cit. por Alcoforado *et al.*, 2005) que sugere a existência de uma cidade mais “quente” rodeada de áreas periféricas mais frescas, correspondendo à integração dos microclimas originados pela urbanização das cidades (Alcoforado, 1992). Contudo, na maior parte das cidades existe um mosaico de áreas quentes, como por exemplo bairros de grande densidade de construção ou com tráfego intenso, em contraste com outras áreas mais frescas, onde se localizam espaços verdes ou planos de água (Alcoforado *et al.*, 2005).

Oke (1995) definiu e clarificou os conceitos, escalas e formas de abordagem identificando três tipos de ICU, em função do nível que formam, relacionadas entre si, mas de formação, magnitude e dinâmica temporal bastante distintas:

- a ICU de superfície que corresponde às superfícies urbanas mais quentes do que as rurais, tendo sido já feitos vários estudos na cidade de Lisboa a partir de técnicas de deteção remota (Alcoforado, 1986 e Lopes, 2003);
- a ICU da atmosfera urbana inferior (*urban canopy layer*) estudada entre o nível do solo e o nível médio do topo dos edifícios (Andrade, 2003);
- por último, a ICU da atmosfera urbana superior (*urban boundary layer*), que ocorre por cima do urban canopy e que se estende por vezes, até à atmosfera livre (camada-limite superior, onde as características de temperatura, humidade, turbulência e composição da atmosfera já não são influenciadas pela presença da cidade (Oke, 1987; Fallot e Alcoforado, 1988; Alcoforado, 1992^a cit. Alcoforado *et al.*, 2005).

Foram realizados até este momento diversos estudos sobre a ilha de calor urbano em Lisboa, onde esta é estudada e documentada (Alcoforado, 1987, 1993; Alcoforado *et al.*, 1995, 1998, 1999a, 1999b, 2000, 2003, 2005; Andrade, 1994, 1998, 2003a, 2003b; Andrade *et al.*, 1999; Lopes, 1994, 1998, 2003; Lopes *et al.*, 2001a, 2001b, 2002a, 2002b cit. Baltazar, 2010). Mais recentemente foi desenvolvido um estudo na cidade de Lisboa sobre a ICU (Alcoforado *et al.*, 2014) onde, utilizando os pontos “centrais” (Restauradores ou Saldanha) e um dos pontos mais excêntricos (Carnide ou Monsanto) durante 8 anos (2004-2012), se demonstrou que a ICU é mais intensa e frequente no Verão (valor máximo horário: 6,3°C), do que no Inverno (valor máximo de 3,8°C), verificando-se que é mais intensa de noite do que de dia, mantendo o que já foi apresentado em estudos anteriores. Outro estudo (Lopes, 2013) aponta para um valor de intensidade média da ICU em Lisboa de cerca de 3°C.

2.1.2 A nortada na cidade de Lisboa

O vento desempenha uma importância fundamental no ambiente climático das cidades, promovendo o arejamento, destacando-se as brisas do mar ou do estuário, através dos quais é transportado ar fresco e húmido do oceano e/ou do estuário do Tejo, que contribuem para um arrefecimento significativo da cidade, atuando, de forma positiva no conforto térmico e na saúde dos cidadãos (Alcoforado *et al.*, 2005). Não são

só as brisas do estuário do Tejo que são importantes de analisar e serão apresentadas no ponto seguinte, mas também é essencial falar de outro regime de vento frequente na cidade de Lisboa: a Nortada.

No Verão (estação do ano em estudo nesta dissertação) existe um regime de vento predominante na Região de Lisboa, relativamente forte e que ocorre em todo o litoral ocidental da Península Ibérica, entre Maio e Setembro/Outubro.

Este vento regional (figura 3) ocorre devido à existência de um forte gradiente de pressão atmosférica entre o interior da península, mais quente, onde existe habitualmente uma depressão térmica, e o oceano com temperaturas mais baixas, onde geralmente pelo ocorre o anticiclone dos Açores (Lopes, 2003). Segundo Alcoforado (1987) e Lopes (2003), num estudo realizado na cidade de Lisboa sobre as interações entre os regimes de vento no Verão e as brisas do oceano e do estuário do Tejo, ficou demonstrado que as direcções mais frequentes do vento foram de Norte e Noroeste. O vento é relativamente forte, sendo a sua velocidade por vezes superior a 5,6 m/s (Alcoforado, 1987 cit. Vasconcelos, 2006).

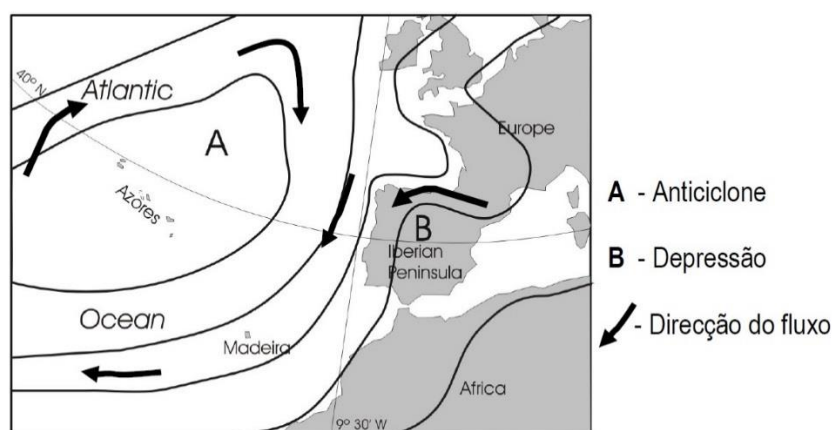


Figura 3 – Situação sinóptica de superfície favorável à ocorrência da nortada em Portugal Continental. Alcoforado *et al.*, 2006 cit. Vasconcelos, 2006

O regime de Nortada assume uma grande importância para a cidade, no que diz respeito à qualidade do ar e ao conforto, pois promove a dispersão de poluentes e reduz

o calor, tanto de origem natural como antrópica. No entanto, pode ser causa de desconforto para os indivíduos devido à sua intensidade (Ribeiro, 2011).

2.1.3 A importância das brisas para o clima na cidade de Lisboa

Outro regime de vento frequente na cidade de Lisboa e com influência direta no clima da cidade são as brisas, já acima mencionadas. As brisas são fenómenos climáticos que se caracterizam pela advecção do ar induzida por diferenças térmicas (Alcoforado, 1987; Simpson, 1994; Mora, 1998; Neto, 2005 cit. em Vasconcelos e Lopes, 2005). Nas brisas de mar e/ou de rio, as diferenças térmicas ocorrem devido às diferenças entre o calor específico da terra e da água, caracterizando-se por uma maior capacidade de aquecimento da terra em relação ao mar durante o dia e um arrefecimento maior durante a noite. Durante o dia, a superfície da terra aquece mais rapidamente do que a superfície da água, causando diferenças térmicas entre as duas superfícies (Vasconcelos e Lopes, 2005), levando a um gradiente de pressão horizontal nas baixas camadas da atmosfera, que originam brisas no sentido do mar-terra (Geiger, 1980; Alcoforado, 1987; Oke, 1987; Simpson, 1994, Mora, 1998; Azorin Molina, 2004 cit. em Vasconcelos, 2006).

Durante a noite, a superfície terrestre arrefece mais rapidamente do que a do mar, levando a um gradiente inverso, originando movimentos do ar no sentido terra-mar (figura 4). As brisas de mar ou do estuário, devido à sua trajetória, transportam, na maioria dos casos, ar fresco e húmido, sendo consideradas benéficas para o conforto térmico humano.

Como foi visto anteriormente, o regime de vento estival na cidade de Lisboa é dominado por um fluxo do quadrante Norte, onde os rumos de N e NW ocorrem em 70% das ocasiões (Nortada). Quando a nortada diminui a sua velocidade, ou cessa, são desencadeados fenómenos de brisa do mar e do estuário (Andrade, 2003), fenómeno que ocorre em cerca de 30% dos dias de Verão (Vasconcelos e Lopes, 2005).

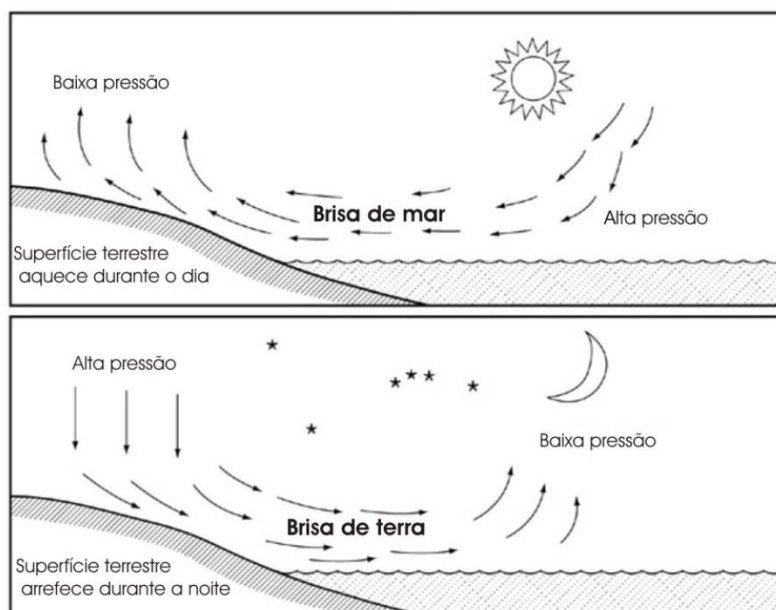


Figura 4 – Esquema representativo do desenvolvimento de brisas de mar e de terra.

Adaptado da *National Defense University* cit. Vasconcelos, 2006

Alcoforado (1987), identificou pelo menos três regimes de brisas em Lisboa caracterizadas pela rotação na componente direcional do vento:

- 1- as brisas de nordeste que rodam para este/sudeste;
- 2- as brisas de este que rodam para sudeste e por vezes, para sul;
- 3- as brisas que rodam até sudoeste ou mesmo para oeste.

Segundo Alcoforado (1987), a rotação das brisas, sobretudo as observadas na zona oriental da cidade, ainda estão por esclarecer, mas existem já apontadas duas hipóteses, que não se excluem, mas podem sim, atuar conjuntamente:

- a) brisa do oceano, ainda fraca de manhã, canalizada pelo Tejo, diverge onde o estuário alarga tomando a componente de sudeste;
- b) de manhã a própria brisa seria um fenómeno localizado, induzido pelas diferenças de temperatura entre o estuário do Tejo que se encontra mais fresco, em relação à cidade mais aquecida (Alcoforado, 1987 cit. Lopes, 2003).

A brisa pode ser responsável por uma diminuição da temperatura do ar, principalmente no setor meridional da cidade, devido à penetração do fluxo de ar fresco e húmido oriundo do estuário do Tejo e do Oceano. Na ausência da brisa como falado

anteriormente, os ventos de Norte ou de Noroeste fazem com que os bairros ribeirinhos sejam os mais quentes da cidade, devido ao efeito de abrigo (Alcoforado e Andrade, 2006 cit. Vasconcelos, 2006), sendo que a presença das brisas, nas áreas junto ao rio, nomeadamente no sector sudoeste, levam ao arrefecimento da atmosfera, tornando-a mais frescas (Andrade, 2003), demonstrando assim a sua importância para cidade de Lisboa.

2.2 Bioclimatologia humana

O estudo do clima veio há muito reconhecer a sua importância para o modo de vida das populações. Existem várias variáveis atmosféricas que influenciam o conforto térmico dos indivíduos, como a temperatura do ar, a humidade do ar, a velocidade do vento e a temperatura radiativa (designados por complexo térmico e mais à frente apresentadas) (Andrade, 2003). Na Europa têm sido realizados vários estudos científicos relacionados com o bem-estar climático, sendo os primeiros no século XIX que se debruçaram sobre os trabalhadores das indústrias mineiras e têxteis, que sofriam frequentemente enfermidades, devido às temperaturas elevadas e à humidade a que estavam sujeitos (Garcia, 1996 cit. por Baltazar, 2010).

No século XX, surgem os primeiros aparelhos de refrigeração e como consequência estudos sobre a avaliação do conforto, neste caso em espaços interiores, promovidos pela indústria de ar condicionado (Monteiro e Alucci, 2007). Com o desenvolvimento dos métodos quantitativos e a colaboração interdisciplinar, como é o caso da biologia, medicina, etc. estes estudos tornaram-se mais objetivos e surge então a área da bioclimatologia como uma ciência (Höppe, 1997). Segundo Andrade (2003), os termos de bioclimatologia e biometeorologia surgiram muitas vezes em bibliografia como sendo sinónimos, no entanto, Mayer (1993) realizou uma definição onde indica que a biometeorologia humana é uma ciência que “estuda os efeitos do tempo, do clima e da poluição atmosférica sobre o organismo humano”, enquanto, a bioclimatologia é uma ciência que “trata dos aspetos espaciais e aplicados das relações entre a atmosfera e os seres vivos”. Mais recentemente, e sem deixar de validar as definições apresentadas

anteriormente, Auliciems (1997) caracteriza a bioclimatologia como uma ciência de adaptação (fisiológica e cultural) que estuda as interações entre a atmosfera e os seres vivos, pressupondo um carácter adaptativo dos seres humanos e das sociedades às variações das condições atmosféricas (Andrade, 2003).

A avaliação do ambiente atmosférico e dos impactes sobre os seres humanos é um dos principais objetivos do estudo da bioclimatologia humana. Segundo Jauregui (1997), a crescente degradação ambiental nas cidades, consequência do aumento de concentração da população e da degradação da qualidade do ar devido ao aumento de veículos nas cidades, e o consequente aumento da mortalidade e morbilidade dos habitantes, fez com que a bioclimatologia urbana tenha surgido, debruçada sobre os efeitos que o clima urbano e as suas alterações, induzidas pelo processo de urbanização, têm tido sobre a saúde e bem-estar dos seus habitantes.

No entanto, tem sido o complexo térmico que mais tem sido estudado, embora a qualidade do ar e os efeitos biológicos da radiação solar tenham vindo a ganhar mais importância nos estudos da bioclimatologia humana (Höppe, 1997; Matzarakis e Amelung, 2008).

A bioclimatologia humana tem tido várias áreas de aplicação, sendo as principais (Andrade, 2003):

- Avaliar e minimizar os riscos de natureza bioclimática, como por exemplo, eventos climáticos extremos, como as ondas de calor:
- No planeamento e ordenamento urbano, com vista à melhoria da qualidade do ambiente e do bem-estar da população.

2.2.1 O Balanço energético do corpo humano

O ser humano é um ser homotérmico, ou seja, tem de manter a sua temperatura corporal mais ou menos constante, aproximadamente nos 37°C (García, 1996; Andrade, 1998). A temperatura do corpo humano é, quase sempre, diferente da temperatura

ambiente, no entanto são estabelecidos fluxos de calor entre corpo e o ambiente externo, tendo que ser regulados, sendo essencial a existência de mecanismos de termorregulação que são fundamentais para manter o equilíbrio do balanço energético corpo/atmosfera (Andrade, 2003).

Para calcular as trocas energéticas e radiativas entre a atmosfera e o corpo humano foram criadas equações ([1] e [2]) do balanço energético e radiativo (Tabela 1), inicialmente por Fanger (1972) e posteriormente modificadas por Höppe (1993) e VDI (1998).

O Balanço energético pode ser escrito:

$$M + W + Q^* + Q_h + Q_L + Q_{sw} + Q_{re} = 0 \quad [1]$$

E o Balanço radiativo:

$$Q^* = [(I + D + R) \cdot a_k + (A + E) \cdot a_l] - E_{km} \quad [2]$$

Na equação do balanço energético, as variáveis M e W representam a produção de calor através do movimento, esforço físico e processos bioquímicos realizados pelo corpo humano, estando as outras variáveis associadas às interações do corpo humano com a atmosfera (Nascimento, 2018).

Os fatores que influenciam a interação entre o organismo e a atmosfera estão condicionados pelas condições meteorológicas, como a temperatura do ar, a temperatura radiativa média, a tensão parcial de vapor de água e a velocidade do vento, atuando conjuntamente com o nível de atividade física e com o vestuário, o que representa uma elevada complexidade, pois não dependem só de uma avaliação da radiação absorvida por um indivíduo, com os componentes apresentados anteriormente, mas também do seu meio envolvente (Andrade, 2003; Nascimento, 2018).

Tabela 1 - Componentes da equação de balanço energético (Andrade, 2003; Baltazar, 2010; Nascimento, 2018 a partir de VDI 3787, 1998)

Componentes do balanço energético	Componentes do balanço radiativo
M = Taxa metabólica (produção de energia por via metabólica)	I = radiação solar direta
W = Eficiência mecânica (consumo de energia para a execução de trabalho físico)	D = radiação solar difusa
Q^* = Balanço radiativo	R = radiação solar refletida pelas superfícies envolventes
Q_h = fluxo turbulento de calor sensível (essencialmente transferência de calor por convecção)	A = radiação térmica da atmosfera
Q_L = fluxo turbulento de calor latente (difusão do vapor de água)	E = radiação térmica das superfícies envolventes
Q_{sw} = fluxo turbulento de calor latente (evaporação do suor)	E_{km} = radiação térmica emitida pelo corpo humano
Q_{re} = fluxo respiratório de calor sensível e latente	a_k = coeficiente de absorção para a radiação solar
	a_l = coeficiente de absorção para a radiação de grande comprimento de onda

O corpo humano, para controlar os sistemas internos de produção de calor e o sistema de troca com a atmosfera, dispõe de três mecanismos de resposta fisiológica, sendo eles (Parsons, 1993; Baltazar, 2010 cit. Nascimento, 2018):

- processos termorreguladores do corpo na circulação periférica do sangue, através da vasodilatação (situação de calor) ou a vasoconstrição (situação de frio);
- a produção de suor, como meio de arrefecimento da pele, estimulando a perda de calor em situações quentes;

- a incitação da ação, voluntária ou involuntária, dos movimentos dos músculos (arrepios de frio) para aumentar a produção de calor face a condições de temperaturas frias.

Os processos termorreguladores voluntários não se baseiam só nos mecanismos indicados, existem outros, como a ingestão de fluídos quentes ou frios, a regularização do nível de atividade física, alteração do vestuário e até a deslocação para áreas mais favoráveis em relação à exposição solar para melhorar o conforto térmico (Baltazar, 2010; Nascimento, 2018).

O vestuário tem um papel mais importante na regulação do conforto térmico (Höppe, 1997). Detém características que influenciam as trocas de calor e de vapor de água entre o corpo humano e a atmosfera, sendo que tem uma função de isolamento. Essa função de isolamento depende do tipo e da espessura do material e do grau de cobertura corporal. Existe uma medida que expressa a resistência térmica do material, designada por *Clo*, representado na tabela 2 abaixo, onde estão alguns dos exemplos de isolamento térmico proporcionado por diferentes tipos de roupas, relativamente a um indivíduo em estado de repouso e a uma temperatura de 21°C (Parsons, 1993; Baltazar, 2010).

Tabela 2 – Isolamento Térmico proporcionado por alguns tipos de vestuário em *Clo*. Fonte: VDI, 1998 cit. Andrade, 2003

Tipo de Vestuário	Isolamento térmico (<i>Clo</i>)
Ausência de vestuário	0,0
Calções	0,1
Vestuário ligeiro de Verão	0,5 a 0,6
Fato completo	1,0
Fato e sobretudo de algodão	1,5
Fato pesado e sobretudo de Inverno	2,0
Vestuário Polar	0,3 a 4,0

2.2.2 Índices térmicos utilizados para o estudo da bioclimatologia humana

“Os índices bioclimáticos, pela utilização combinada de vários parâmetros atmosféricos, permitem uma melhor avaliação do efeito do clima sobre a sensação e conforto térmico.” (Baltazar, 2010:9)

Inicialmente, estes índices foram produzidos para o estudo de ambientes térmicos interiores e surgiram por volta da década de 20. Os parâmetros utilizados eram simples e utilizavam um número reduzido de variáveis (apenas meteorológicas) (Baltazar, 2010). Estes índices são por exemplo, a *Temperatura Efetiva*, de Houghten e Yaglou (1923) que é um índice empírico que considerava apenas a temperatura do ar e a humidade (Parsons, 1993 cit. Andrade. 2003). Deste índice resultou, após melhoramentos, na *Nova Temperatura Efetiva* de Vernon e Warner (1932) e posteriormente Missenard (1948 para *Temperatura Resultante* (Bracarense *et al.*, 2018). Foram apontadas muitas limitações a estes índices, devido sobretudo a utilização de um número reduzido de variáveis e por terem falta de relevância fisiológica, não tendo em conta as diferenças individuais (Jauregui, 1998; Andrade, 1998).

Terjung (1966 e 1968) desenvolveu e aplicou, para o estudo do bioclima humano nas décadas de 60 e 70 do século XX, diversos índices para avaliar e classificar, de ponto de vista bioclimático, tanto no continente africano e mais tarde, no mundo (Jauregui, 1998; Baltazar, 2010). Foram apresentadas algumas limitações a esses índices, por vários autores, como Hounam (1967) que sugeria a necessidade de incluir, para além das características meteorológicas, as características do vestuário e do balanço energético entre o homem e a atmosfera (Jauregui, 1998).

Após a criação desses índices, surgiram outras abordagens, adicionando reações psicológicas ao modelo, como foi feito por Auliciems (1981,1983) que tentou definir critérios para o conforto térmico humano em termos psicológicos e fisiológicos (Jauregui, 1998).

Mais recentemente, foram desenvolvidos índices que já têm em consideração a importância do balanço energético do corpo humano, como é o caso de Fanger (1972) que desenvolveu o *Predicted Mean Vote* (PMV), um dos índices de conforto mais conhecidos (Andrade, 2003). Inicialmente foi desenvolvido unicamente para a climatização de interiores, no entanto Jendritzky *et al.* (1979, cit. Andrade, 2003) modificaram o PMV para permitir a sua aplicação no exterior, incluindo parâmetros de avaliação dos fluxos radiativos (Höppe, 1997; Baltazar, 2010).

A partir desta fase foram surgindo mais modelos e índices de conforto para avaliação de condições de exterior, abrangendo todo o tipo de situações (frio-confortável-calor) e utilizando um ambiente térmico determinado, incluindo a atividade física e vestuário previamente definidos (valores fixos de metabolismo de 80W/m^2 e vestuário de $0,9\text{ Clo}$), os mecanismos termofisiológicos do corpo humano e determinando quais os gastos energéticos relacionados com a resposta fisiológica da regulação da temperatura corporal (Höppe, 1999; Andrade, 2003 cit. Baltazar, 2010). Um desses modelos é o *MEMI– Munich Energy-balance Model for Individuals*, desenvolvido por Höppe (1984), baseado no modelo Fanger (1972) e que deu origem ao índice de conforto termofisiológico *Physiological Equivalent Temperature* (PET), que avalia o efeito da influência conjugada das variáveis atmosféricas sobre o conforto (Andrade, 1998, 2003).

Em 1999, a *International Society on Biometeorology* (ISB) criou uma comissão para desenvolver um novo índice, o Índice Térmico Universal – UTCI (Jendritzky *et al.*, 2002 cit. Blazejczyk *et al.*, 2010), com o objetivo de criar um procedimento de avaliação térmica baseado num modelo termofisiológico mais avançado. Desde 2005, o projeto foi reforçado pela Ação Europeia COST 730 (*Cooperation in Science and Technical Development*), sendo que foram reunidos os principais especialistas na área da termofisiologia humana, modelação fisiológica, meteorologia e climatologia, desenvolvendo assim o UTCI. Este índice ficou concluído em 2009, criando-se assim um novo UTCI (Blazejczyk *et al.*, 2010). Este índice será o índice utilizado nesta dissertação, devido à sua aplicabilidade na área da bioclimatologia e do conforto térmico e sobretudo

devido a ser recente e neste momento o mais desenvolvido e mais utilizado nesta área, pois é adaptado a todos os climas (IPMA, 2018).

2.2.3 O Índice UTCI

Para realizar a modelação de acordo com os objetivos desta dissertação, decidiu-se utilizar o modelo UTCI, como acima foi indicado. O UTCI é o novo Índice Térmico Universal, usado neste momento em diversos estudos sobre conforto térmico humano em meio ambiente. Este índice foi criado com o intuito de cumprir certos requisitos, sendo estes a representação significativa das variações nas trocas de calor de acordo com todos os fatores possíveis, ser adequado a todos os climas, estações do ano e escalas, e que forneça informação útil para a aplicação em diversas áreas que requeiram informação bioclimática, como por exemplo, nos serviços públicos de meteorologia e de saúde, no planeamento de riscos e nos impactes climáticos que possam afetar a saúde, entre outros (Jendritzky *et al.*, 2005 cit. Nascimento, 2018).

Como resultado final do cálculo do UTCI é apresentada uma temperatura do ar observada nas condições de referência, que suscite a mesma reação fisiológica que as condições reais observadas num dado local (Błażejczyk *et al.*, 2010 cit. Nascimento, 2018).

O índice UTCI é composto por três componentes, como pode ser observado na figura 5 e tabela 3: i) o modelo fisiológico; ii) o modelo auxiliar de cobertura; iii) o modelo dos fatores meteorológicos que afetam diretamente os indivíduos num ambiente urbano, chamado de “Complexo Térmico”, que permite ao modelo fisiológico estimar a reação do ser humano num determinado ambiente, através dos processos termorreguladores estimados do corpo humano, atribuindo assim um valor de UTCI ao ambiente estudado (Błażejczyk *et al.*, 2010 cit. por Nascimento, 2018).

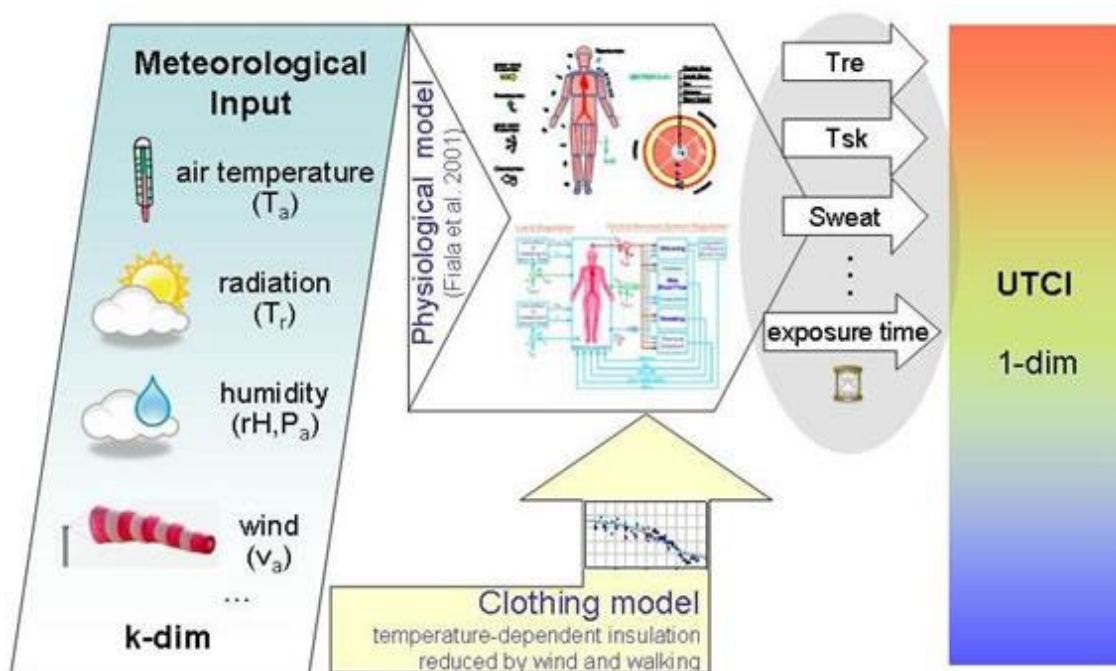


Figura 5 - Esquema do cálculo do UTCI a partir de um modelo termofisiológico, com auxílio de um modelo de vestuário (Błażejczyk *et al.*, 2010)

Tabela 3 – Respostas termofisiológicas estimadas do modelo termofisiológico após tempo de exposição de 30 a 120 min (adaptado de Błażejczyk *et al.*, 2010)

Resposta	Abreviação	Unidade
Temperatura interna	Tre	°C
Temperatura média da pele	Tskm	°C
Temperatura da pele do rosto	Tskfc	°C
Produção de suor	Mskdot	g/min
Produção de calor por arrepios	Shiv	W
Humidade epidérmica	wettA	% de área do corpo
Fluxo sanguíneo da pele	VblSk	% do valor basal

Para o modelo fisiológico utilizado no índice, foi necessário desenvolver diversos testes de validação e discussões entre os membros da ação COS 730, acabando por desenvolver um modelo de base denominado “UTCI – Fiala” (Fiala et al., 2011), que se mostrou ser bastante eficaz na predição dos comportamentos fisiológicos do corpo em diversas situações climáticas (Nascimento, 2018). Este modelo é de composição multi-nodal, onde considera diferentes propriedades do corpo humano, como as propriedades térmicas, a anatomia, as propriedades fisiológicas e interações internas, para a caracterização do comportamento fisiológico, sendo que este tipo de modelo foi muito testado e validado em estudos anteriores (Błażejczyk et al., 2010).

No que diz respeito aos parâmetros fisiológicos para testar o índice UTCI estes são os seguintes: um indivíduo de 35 anos, de 1,75m de altura e com um peso de 75kg, deslocando-se a 4 km/h (Błażejczyk et al., 2010). Em relação ao ambiente, esta análise foi feita uma velocidade de vento de 0,5 m/s, registada a 10m de altura, com uma temperatura do ar igual à temperatura radiativa média e com uma humidade relativa de 50%, com uma pressão de vapor não excedendo 20 hPa (Błażejczyk et al., 2010; Rossi et al., 2012).

Em relação aos valores do UTCI, com uma dada combinação de vento, radiação, humidade e temperatura do ar é definida a temperatura do ar na condição destes mesmos elementos meteorológicos, para qual o índice é calculado, tendo a Ação COST 730, definido uma escala de UTCI representada na Tabela 4 (IPMA, 2018).

Tabela 4 – Escala de Stress Térmico do UTCI. Fonte: Adaptado de IPMA, [último acesso em 24/11/2018, <https://www.ipma.pt/pt/enciclopedia/amb.atmosfera/index.bioclima/?page=utci.xml>]

UTCI (°C)	Classificação de Stress
>+46	Stress por calor extremo
+38 a +46	Stress por calor muito elevado
+32 a +38	Stress por calor elevado
+26 a +32	Stress por calor moderado
+9 a +26	Sem stress térmico
0 a +9	Stress por frio ligeiro
0 a -13	Stress por frio moderado
-13 a -27	Stress por frio elevado
-27 a -40	Stress por frio muito elevado
< -40	Stress por frio extremo

2.3 Conforto térmico

O estudo do conforto térmico humano abrange diversas áreas das ciências, como a arquitetura, a climatologia, a medicina e engenharia. O interesse pelo conforto ambiental humano, pode ser analisado cronologicamente, começando por Hipócrates (480 a.C) que através de *O Tratado dos Ares, das Águas e dos Lugares*, tornou-se pioneiro no tratamento de temas relacionados com a Geografia da Saúde (Glacken, 1990 cit. em Rozolen, 2011), realçando nessa obra, as relações entre o clima e as características do homem e do meio em que este habita. Segundo Glacken (1990), esta obra quis demonstrar que a constituição do corpo se alteraria de modo integrado com as mudanças que ocorrem na natureza, descrevendo assim a influência que as variabilidades climáticas sazonais teriam sobre o corpo humano.

Já em 1972, Lacaz *et al.* (1972), descrevem que se acreditava que o clima era responsável pelo aparecimento e proliferação de algumas doenças, afirmando que os ventos em Atenas em 50 a.C. influenciavam o aparecimento de doenças. No que diz respeito à preocupação sobre a adequação das estruturas urbanas das habitações, Goitia (1982) cit. em Rozolen (2011), esclarece que “a cidade de Olinto, na Macedônia, fundada em 432 e destruída em 347 a.C., tinha sua parte mais nova construída segundo uma planta hipodâmica (traçado xadrez), com ruas principais que seguiam a direção norte-sul, separadas entre si por uns 100 metros, cortadas no sentido leste-oeste por ruas mais estreitas, separadas umas das outras por uns 40 metros. Deste modo era possível obter uma exposição ao sul das casas que compunham os blocos colocados daquele modo, já que a casa grega era construída à volta de um pátio que lhe permitia se beneficiar da exposição ao sul. Em Olinto, o pátio situava-se sempre na fachada sul do bloco, mesmo que a entrada da casa fosse noutro lado. O Sol podia assim penetrar, no inverno, até ao fundo da habitação principal, que usualmente estava por trás de um pórtico, de maneira que no verão, pelo contrário, quando o Sol estava mais alto, este pórtico protegia a casa da incidência solar direta em seu interior”.

Em 1945, Ferraz aborda o tema do conforto térmico através da Bioclimatologia, sendo que para ele, os fatores atmosféricos não influenciam separadamente dos processos vitais, mas sim em conjunto, ou seja, este salientava que os fatores meteorológicos, como a radiação, as condições de calor, a humidade do ambiente, o vento, a pressão atmosférica e os fenómenos “aero-elétricos” é que contribuíam para a formação de um clima biológico.

Já criada em 1981, a ASHRAE, Associação internacional de engenheiros de AVAC (Aquecimentos, Ventilação e Ar condicionado), veio estabelecer uma definição de conforto térmico humano, tornando-se uma das mais usadas por diferentes autores. A ASHRAE define o conforto térmico humano como o “estado mental que expressa satisfação com o ambiente térmico envolvente ao indivíduo, sendo que o equilíbrio de calor do corpo humano depende da rapidez com que esse perde calor, enfatizando essencialmente o carácter psicológico do fenómeno” (Parsons, 1993 cit. em Andrade, 2003). O estado de conforto/desconforto térmico resulta assim da combinação

extraordinariamente complexa entre diferentes variáveis, sendo condicionado por parâmetros psicológicos, mas também por fatores pessoais como o comportamento, história térmica (aclimatação a determinado ambiente), humor, percepção do ambiente envolvente e expectativa térmica (Kalkstein e Valimont, 1986; Auliciems e De Dear, 1997; Cadima, 2000 cit. em Andrade, 2003).

A definição de conforto térmico é muitas vezes confundida com a definição de sensação térmica, sendo que essa corresponde à identificação do estado térmico dos termorreceptores e não, ao contrário do que se pode pensar e ao que leva a se confundir com o conforto térmico, à percepção direta do indivíduo por parte do ambiente físico (Rohles, 1974; De Freitas, 1985; Parsons, 1993 cit. em Andrade, 2003). Parsons afirma que a sensação térmica é bipolar por natureza, que esta é frequentemente expressa numa escala com um setor central “neutro” e com quatro graus de sensação de cada sentido (frio e calor) (figura 6). Aquando ocorrem situações extremas, por exemplo de sofrimento (Hensel, 1981; Parsons, 1993) torna-se difícil distinguir entre sensação e avaliação do ambiente térmico, sendo que em sofrimento as temperaturas variam entre T_{sk} inferior a 15°C ou superior a 45°C (GAVHED, 2003 cit. em Andrade, 2003).

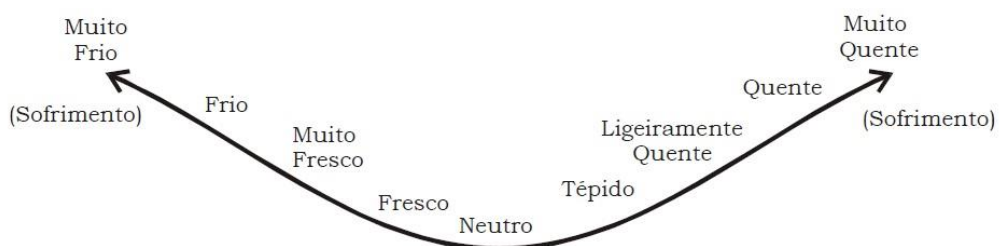


Figura 6 – Escala de sensação térmica, segundo Hensel (1981, cit. Parsons, 1993 adaptado de Andrade, 2003)

Existem diversos estudos que evidenciam bem as diferenças entre sensação/conforto térmico, como é o caso De Freitas (1985) cit. em Andrade (2003), num estudo realizado numa praia australiana. O estado de conforto térmico, pode ainda, segundo Givoni (1978) cit. Andrade (2003), ser definido em termos negativos,

como a ausência de desconforto, sendo assim, essencialmente, um estado passivo, no entanto em casos termofisiológicos extremos, pode até ser considerado o conceito “prazer térmico” (Parsons, 1993) que resulta de forte contraste de sensações térmicas, como por exemplo um mergulho no mar frio na sequência de calor extremo.

2.4 Alguns estudos sobre o conforto térmico em Lisboa

São diversos os estudos que têm sido realizados sobre o conforto térmico na cidade de Lisboa, alguns à mesoescala e outros à microescala, tendo como base o clima local. Maria João Alcoforado e Henrique Andrade foram os pioneiros no estudo do conforto térmico na cidade de Lisboa.

Foram diversos os estudos publicados em Portugal: um dos primeiros foi o de Alcoforado (1987) - *Brisas estivais do Tejo e do Oceano na região de Lisboa* – onde se debruça, sobre as brisas e a sua influência na cidade de Lisboa. Este estudo incide sobre o Verão, pois é nesta época do ano que as brisas mais se destacam, utilizando 646 dias de Verão (1973 a 1977, 1981, 1983 e 1984) e duas estações meteorológicas (Cabo Ruivo e Montijo). Diversos outros estudos feitos por Henrique Andrade, sendo um deles (1998), uma investigação sobre “*O desconforto térmico estival em Lisboa - uma abordagem bioclimática*”, onde utiliza a estação meteorológica Lisboa/Portela com dados do período de 1991 a 1997, também para o Verão, onde utilizou o índice de conforto PET. O autor verificou que ocorreram 10% de dias com desconforto térmico, principalmente no mês de Julho, estando o ambiente sentido fortemente correlacionado com a ocorrência de brisas entre a cidade e o estuário do Tejo. Concluiu ainda que o regime de nortada, muito frequente no Verão, é um importante fator para atenuar o desconforto sentido devido ao calor. Deste artigo, surgiu, em 2003, a sua dissertação de doutoramento, focado na bioclimatologia humana e no conforto térmico.

Já no decorrer da primeira década do século XXI, são apresentados diversos artigos e estudos com o intuito de compreender a influência do crescimento urbano no clima local, como é o caso de Lopes (2003) – *Modificações no Clima de Lisboa como Consequência para o Crescimento Urbano: Vento, Ilha de Calor de Superfície e Balanço*

Energético – onde dividiu o seu estudo em duas partes. Na primeira parte, debruçou-se sobre os ventos de quadrante Norte (Nortada) e brisas do Estuário do Tejo e qual a influência que a construção desordenada e o crescimento urbano na cidade tem trazido para a redução da velocidade dos ventos, utilizando uma escala microclimática (Bairro de Telheiras), efetuando, através de uma maqueta, ensaios no túnel aerodinâmico do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), tendo demonstrado que o aumento da rugosidade pode alterar as condições de ventilação em várias zonas da cidade. A segunda parte, incidiu sobre a ilha de calor urbano de superfície e sobre o balanço energético em Lisboa, através de imagens dos satélites NOAA-AVHRR+ e Landsat TM, explorando os potenciais deste tipo de informação e alguns algoritmos, evoluindo no conhecimento do clima regional e local de Lisboa.

Assinalam-se outros trabalhos, como *“Microclimatic variation of thermal comfort in a district of Lisbon (Telheiras) at night”*, realizado por Andrade e Alcoforado (2008), onde foi estudada a variação espacial microclimática, como a temperatura do ar, a velocidade do vento, os fluxos radiativos e a PET em Telheiras (no norte da cidade de Lisboa) onde o objetivo principal foi avaliar as condições térmicas ao ar livre, tendo por base os resultados obtidos na pesquisa, utilizando os Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Em 2009, Alcoforado *et al.* desenvolvem o artigo *“Application of climatic guidelines to urban planning. The example of Lisbon (Portugal)”* direcionado para as orientações de planeamento urbano que contribuem para a sustentabilidade do ambiente urbano, numa cidade de clima mediterrâneo (Lisboa). Os autores desenvolveram uma metodologia que pode ser aplicada a outras cidades com características semelhantes, e discutiram alguns problemas que surgem aquando aplicação ao conhecimento climático ao planeamento urbano de modo a contribuir para promover um debate sobre as vantagens de incluir orientações climáticas nos Planos Diretores Municipais (PDM).

Em 2010, Andrade *et al.*, escreveram sobre a perceção do conforto humano pelos utilizadores de espaços públicos lisboetas: *“Perception of temperature and wind by users of public outdoor spaces: relationships with weather parameters and personal characteristics”*. Este artigo tinha como objetivo entender a relação entre o conforto

térmico expresso pelas pessoas, evidenciando a características pessoais (idade, origem, vestuário, atividade, motivação, entre outras) e as condições atmosféricas. A base de desenvolvimento deste estudo foram inquéritos feitos aos utilizadores em dois locais de lazer em Lisboa entre os anos de 2006 e 2007.

Recentemente, foram desenvolvidas algumas investigações utilizando outros modelos, como por exemplo o índice UTCI, onde Nascimento (2018), na sua dissertação – *“Um WebSIG para a monitorização do conforto térmico em ambiente urbano”* – avaliou e espacializou o conforto térmico na cidade de Lisboa, através da análise de dados diurnos em vários períodos horários dos meses de Verão (Junho, Julho e Agosto) de 2015, utilizando um WebSIG, demonstrando a potencialidade do mesmo e a promoção de inovações que podem ser aproveitadas por outros setores e serviços, como é o caso da saúde pública e serviços de ecossistemas urbanos, e de ordenamento do território, entre outros.

Para finalizar, cita-se um exemplo mais recente (Nouri *et al.*, 2018), onde os autores aplicaram o índice PET, numa área histórica da cidade de Lisboa, a Praça do Rossio, utilizando resultados obtidos num estudo bioclimático feito anteriormente pelos mesmos autores e utilizaram para uma nova projeção os RCP8.5 (cenário mais severo), tendo em conta as alterações climáticas e o design urbano da área em estudo.

2.4 Alterações Climáticas projetadas para Lisboa até 2100

As alterações climáticas são neste momento um dos maiores desafios e problemas para as cidades no século XXI. O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2013) desenvolveu o quinto relatório de avaliação (AR5), onde se apresentam diversas projeções futuras com base em vários cenários antropogénicos de emissões de Gases com Efeito de Estufa (GEE). Neste relatório é indicado que o aquecimento do sistema climático é evidente, estimando-se que as concentrações de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera terrestre possam ter aumentado 40% desde o período pré-industrial, principalmente devido à queima de combustíveis fósseis e alterações no uso dos solos. As mais recentes evidências têm apontado para valores

sem precedentes para a atual concentração atmosférica de GEE. Ainda evidentes provas recentes apontam para que, no período de entre 1880-2012, o aumento da temperatura média global à superfície tenha subido cerca de 0,85°C, podendo variar entre os 0,65°C a 1,06 °C.

No que diz respeito ao clima futuro, projeta-se que a emissão contínua de GEE, como tem sido verificado, provoque um aumento adicional da temperatura média global, provocando assim várias alterações no sistema climático, não só no que diz respeito ao aumento da temperatura, sendo que só apenas uma substancial e contínua diminuição dessas emissões poderia limitar essas alterações. O IPCC projetou vários cenários, sendo que os mais recentes, englobam diferentes níveis de emissões para o futuro, projetando um aumento da temperatura média global à superfície para 2016-2035 entre 0,3°C a 0,7°C e de 0,3°C a 4,8°C para o período de 2081-2100 (quando comparando com o período de 1986-2005). Ainda no relatório do IPCC é indicado que é praticamente certo que a maioria das áreas continentais sofram com mais frequência situações de extremo calor, ao contrário dos extremos de frio, que serão menos frequentes. Um exemplo de evento extremo são as ondas de calor, que se espera aumentem a sua frequência e duração (IPCC, 2013 cit. ENAAC, 2015).

Uma das maiores incertezas, no que diz respeito ao clima futuro, é a variação da precipitação, sendo que as suas alterações não serão uniformes, pois por exemplo em muitas regiões secas de latitudes médias e subtropicais, é provável que exista uma diminuição da precipitação média anual, enquanto em regiões húmidas das latitudes médias, a precipitação poderá aumentar. Com o aumento da temperatura global à superfície, é muito provável que os eventos de precipitação extrema se tornem mais frequentes e intensos, nas áreas continentais de latitudes médias e nas regiões tropicais húmidas.

Por fim, no relatório do IPCC é indicado que ao longo do século XXI, o oceano continuará a aquecer e o nível médio do mar a subir, sendo que essa subida não será uniforme em todas as regiões, existirão algumas onde, muito provavelmente, se irá

verificar um aumento significativo do nível do mar, estimando-se que essa subida possa ser entre 0,26m a 0,98m.

Para a cidade de Lisboa, têm existido diversos estudos focados nas projeções de alterações climáticas para a cidade de Lisboa e para a AML (*PMACC-Plano Metropolitano de Adaptação às Alterações Climáticas*, 2018), sendo que a Câmara Municipal de Lisboa desenvolveu recentemente um estudo com um leque de objetivos de adaptação e mitigação em relação às alterações climáticas, tendo por base o PDM e também a “*Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas-ENAA*”, criando assim a “*Estratégia Municipal de Adaptação às Alterações Climáticas de Lisboa-EMAA*”.

Esta estratégia baseia-se em diversos objetivos como:

- “Melhorar o nível de conhecimento sobre as alterações climáticas, como base das políticas de adaptação, assentes no aprofundamento contínuo do conhecimento e da monitorização do clima;
- Adotar medidas de adaptação através de objetivos específicos, delineados segundo linhas programáticas em cada eixo estratégico desta EMAA;
- Promover a integração da adaptação em políticas sectoriais, promovidas através de ações e projetos desenvolvidos no âmbito do planeamento urbanístico, gestão urbanística e governança.
- Fortalecer parcerias entre entidades e organismos públicos e privados responsáveis pela gestão da cidade” (EMAA, 2017: 24).

Este estudo apresenta diversas diretrizes, sendo essencial primeiro perceber quais as vulnerabilidades atuais e futuras do território e projetar através de cenários, utilizando os *Representative Concentration Pathways* (RCPs) (IPCC, 2013). Estes cenários representam possíveis evoluções socioeconómicas e respetivas emissões de GEE (Gases com Efeito de Estufa). Utilizando a concentração do atual CO₂ que ronda os 400ppm (partes por milhões) foram utilizados dois RCPs:

- RCP4.5: aumento da concentração de CO₂ atmosférico até 520 ppm, até 2070;

- RCP8.5: crescimento semelhante ao RCP4.5 até meio do século, no entanto com um aumento rápido e acentuado, atingindo concentrações de CO₂ de 950ppm até ao final do século.

Os RCPs utilizados têm, em Portugal, duas fontes de informação importantes:

- IPMA: Instituto Português do Mar e da Atmosfera, utilizando o Portal do Clima, recolhendo a informação no site <http://portaldoclima.pt/pt/>, sendo que essa informação foi fundamental para a realização do projeto, pois forneceu dados de projeções climáticas do IPCC AR5 (projeto CORDEX) para diversos períodos de tempo;
- EURO-CORDEX: *Coordinated Downscaling Experiment - European Domain*, projeto da iniciativa europeia *World Climate Research Programme* (WCRP, WMO), determinada para desenvolver projeções climáticas regionais para todo o mundo, no âmbito do IPCC AR5, estando detalhado no site toda a informação a nível europeia e os diversos modelos regionais disponíveis (PMAAC, 2018; EMAAC, 2017).

Através do projeto ClimAdaPT.local realizado pela Agência Portuguesa do Ambiente, foram apresentadas as principais alterações climáticas sentidas na cidade de Lisboa até ao fim do século XXI. Na figura 7 são apresentadas algumas das alterações projetadas tanto para a precipitação, temperatura do ar e subida do nível do mar, tendo sido retirada da EMAAC (2017).

A EMAAC desenvolveu uma visão estratégica para Lisboa face às alterações climáticas, dividindo-o em três eixos estratégicos, criados para a conjugação entre diversos domínios do município, como o planeamento do território, a gestão operacional e a governação. Esses três eixos designam-se por:

- i) Eixo A – Adaptar a cidade às alterações climáticas: “fruir a água” e adaptar o território para o calor;
- ii) Eixo B - Promover uma gestão inteligente e integrada para uma cidade mais resiliente;
- iii) Eixo C - Envolver a comunidade para uma cidadania participada e promover a capacitação coletiva.









Variável climática	Sumário	Alterações projetadas
	 Diminuição da precipitação média anual	<p>Média anual Diminuição da precipitação média anual, sendo mais acentuada no final do séc. XXI, e podendo variar entre 4% e 51% nesse período.</p> <p>Precipitação sazonal Nos meses de inverno não se verifica uma tendência clara (podendo variar entre -40% e +6%), projetando-se uma diminuição no resto do ano, que pode variar entre 9% e 66% na primavera e entre 6% e 50% no outono.</p> <p>Secas mais frequentes e intensas Diminuição do número de dias com precipitação, entre 11 e 35 dias por ano. Aumento da frequência e intensidade das secas no sul da Europa [IPCC, 2013].</p>
	 Aumento da temperatura média anual, em especial das máximas	<p>Média anual e sazonal Subida da temperatura média anual, entre 1°C e 4°C, no final do século. Aumento acentuado das temperaturas máximas no outono (entre 2°C e 5°C).</p> <p>Dias muito quentes Aumento do número de dias com temperaturas muito altas ($\geq 35^{\circ}\text{C}$), e de noites tropicais, com temperaturas mínimas $\geq 20^{\circ}\text{C}$.</p> <p>Ondas de calor Ondas de calor mais frequentes.</p>
	 Subida do nível médio da água do mar	<p>Média Aumento do nível médio do mar entre 0,17m e 0,38m para 2050, e entre 0,26m e 0,82m até ao final do séc. XXI (projeções globais) [IPCC, 2013]. Há estudos que projetam um aumento até 1,10m em 2100 no cenário mais extremo (projeções globais) [Jevrejeva et al., 2012].</p> <p>Eventos extremos Subida do nível médio do mar com impactos mais graves, quando conjugada com a sobrelevação do nível do mar associada a tempestades (<i>storm surge</i>) (projeções globais) [IPCC, 2013].</p>
	 Aumento dos fenómenos extremos de precipitação	<p>Fenómenos extremos Aumento dos fenómenos extremos, em particular de precipitação intensa ou muito intensa [Soares et al., 2015]. Tempestades de inverno mais intensas, acompanhadas de chuva e vento forte (projeções globais) [IPCC, 2013].</p>

Figura 7 – As principais alterações climáticas projetadas para o município de Lisboa até ao final do século. Fonte: EMAAC, 2017 retirado de ClimAdaPT.Local, 2016

A criação da estratégia municipal de Lisboa tem como base dar continuidade ao trabalho que tem sido feito sobre as alterações climáticas, principalmente através da mitigação, no entanto querendo conjugar soluções comuns à mitigação e à adaptação ou criando uma fronteira entre ambas. A conjugação entre ambas é essencial, pois criar medidas de mitigação devido às ações antrópicas é fundamental para que possa ser travada a progressão destas alterações previstas, no entanto, como sequência tem que se articular com a adaptação às alterações climáticas (EMAAC, 2017).

A presente dissertação concorre para estes objetivos, na medida em que se pretende conhecer as prováveis alterações do clima local da zona que integra o Plano de Pormenor no futuro, utilizando modelos de microescala que se descrevem no próximo capítulo.

Capítulo III – Metodologia e dados

Neste capítulo é apresentada e descrita toda a metodologia utilizada para a realização desta dissertação e serão apresentados os dados recolhidos e o software utilizado. De seguida, é feita a apresentação do Plano Pormenor da Calçada das Lajes, das áreas onde estão previstas intervenções e quais que irão ser escolhidas para analisar nesta dissertação.

3.1 O Plano de Pormenor da Calçada das Lajes

O Plano de Pormenor da Calçada das Lajes está assente nos principais objetivos definidos para o desenvolvimento territorial presentes no Plano Diretor Municipal (PDM), que são:

- 1- “Melhorar a qualidade urbana através da disponibilização de espaços públicos para utilização coletiva, assim como dotá-los de áreas para equipamentos de proximidade e reorganizar os traçados viários, requalificando os arruamentos já existentes e criando novos arruamentos, reordenando o estacionamento publico;
- 2- Promover a articulação entre as diferentes malhas urbanas existentes, de génese e morfologia diferenciadas, criando regras que disciplinem a integração de novos edifícios na paisagem já existente, podendo assegurar assim uma adequada transição de volumetria;
- 3- Promover o desenvolvimento e reabilitação da função residencial;
- 4- Requalificar a área histórica, através da conservação e valorização dos bens que integram a estrutura patrimonial municipal e preservar a identidade e memória das antigas quintas de Lisboa;
- 5- Promover a continuidade da estrutura ecológica e melhorar a estrutura verde já existente, através da criação de três jardins públicos junto ao Mosteiro de Santos-o-Novo, ao Forte de Santa Apolónia e no interior do quarteirão, a sul da Igreja de S. Francisco de Assis;

- 6- E por último, salvaguardar e valorizar as relações visuais já existentes, mantendo a fisiografia da cidade, através da conjugação dos espaços públicos e dos elementos característicos da paisagem urbana. “(CML, 2017: 101)

Para melhor perceber a intervenção futura que será realizada, há que entender primeiro o espaço presente e perceber as necessidades enumeradas nos objetivos. A área de intervenção tem como dimensão cerca de 12,3ha (Anexo – Fonte: CML, 2017).

Para realizar os objetivos acima enumerados, justifica-se ter como zona central do plano, reclassificar o “espaço central e residencial a consolidar”, incluindo os edifícios isolados e as pequenas frentes urbanas já existentes. Para tal, existe a necessidade de uma solução que reestruture o território e que o dote das necessárias infraestruturas urbanísticas, implicando a abertura de novos arruamentos destinados, não só, a servir as novas edificações, como também os edifícios já existentes. Este plano está dividido em duas unidades espaciais que abrangem os espaços habitacionais e os espaços verdes a consolidar.

A primeira área (Unidade Espacial 1) é delimitada pela Rua do Alto do Varejão e pelas traseiras dos edifícios com frente para a Rua Lopes e está integrado o interior do quarteirão onde está situada a nova igreja de S. Francisco de Assis (figura 8). Nesta unidade é proposta a construção de 4 novos edifícios urbanos (E1 a E4), um edifício destinado a equipamento (E8) e a melhoria do espaço verde público no interior do quarteirão.

Já a segunda área (Unidade Espacial 2) abrange terrenos onde existirá a mudança dos arruamentos, com a abertura de 2 novas ruas (uma, no prolongamento da Rua Matilde Rosa Araújo e que estabelecerá a ligação entre as avenidas Mouzinho de Albuquerque e Afonso III; e outra na continuidade da Calçada das Lajes) (figura 9). Está prevista ainda a construção de 2 novos edifícios urbanos (E5 e E6) e a criação de um novo jardim publico (UE1).



Figura 8 – Modelo de ocupação previsto da Unidade Espacial 1. Fonte: Divisão do Planeamento Territorial da CML, 2017



Figura 9 – Modelo de ocupação previsto da Unidade Espacial 2. Fonte: Departamento de Urbanismo da CML, 2017

Para a modelação a seguir apresentada não foi possível em todos os períodos do estudo analisar na totalidade a área de intervenção do PP, muito devido à dificuldade de computação do modelo ENVI-met. Apenas foi possível correr a área total uma única vez, para a situação atual, dado ao tempo para efetuar a computação numérica para correr o modelo. Para os cenários de projeção futura a área de estudo foi reduzida, utilizando unicamente uma parte da área prevista de intervenção, porventura onde se verificará uma maior alteração na sua ocupação.

3.2 Dados utilizados

Tal como foi indicado no capítulo I, o objetivo principal desta dissertação é avaliar o conforto térmico sentido pelos indivíduos na Calçada das Lajes e envolvente, atualmente, utilizando dados de 2018 e para o futuro, projetando o período 2070-2100, através do RCP 8.5 (cenário mais severo). Na figura 10 apresenta-se um esquema com a metodologia utilizada.

Primeiramente, procedeu-se à construção do modelo físico utilizando o PP da Calçada das Lajes, cedido pela CML com uma escala de 1:1000. Para além do PP foi necessário utilizar imagens de satélite retiradas do *Google Maps* e ainda, para representar a altura dos edifícios, quatro ficheiros de estrutura vetorial (formato *shapefile*), um com a altura dos edifícios da cidade de Lisboa atual, como resolução 1:25000 e para as alterações previstas dos PP a serem implementados na cidade, retirados exclusivamente para a área de estudo (PP Calçada das Lajes) e outro dos espaços verdes da cidade de Lisboa 1:25000 (figura 11) e ainda o modelo digital do terreno, essencial para definir a altimetria da área em estudo, uma das variáveis que mais pode influenciar os resultados dos modelos finais, devido a ser uma área da cidade de Lisboa com uma inclinação de relevo para NN (figura 12).

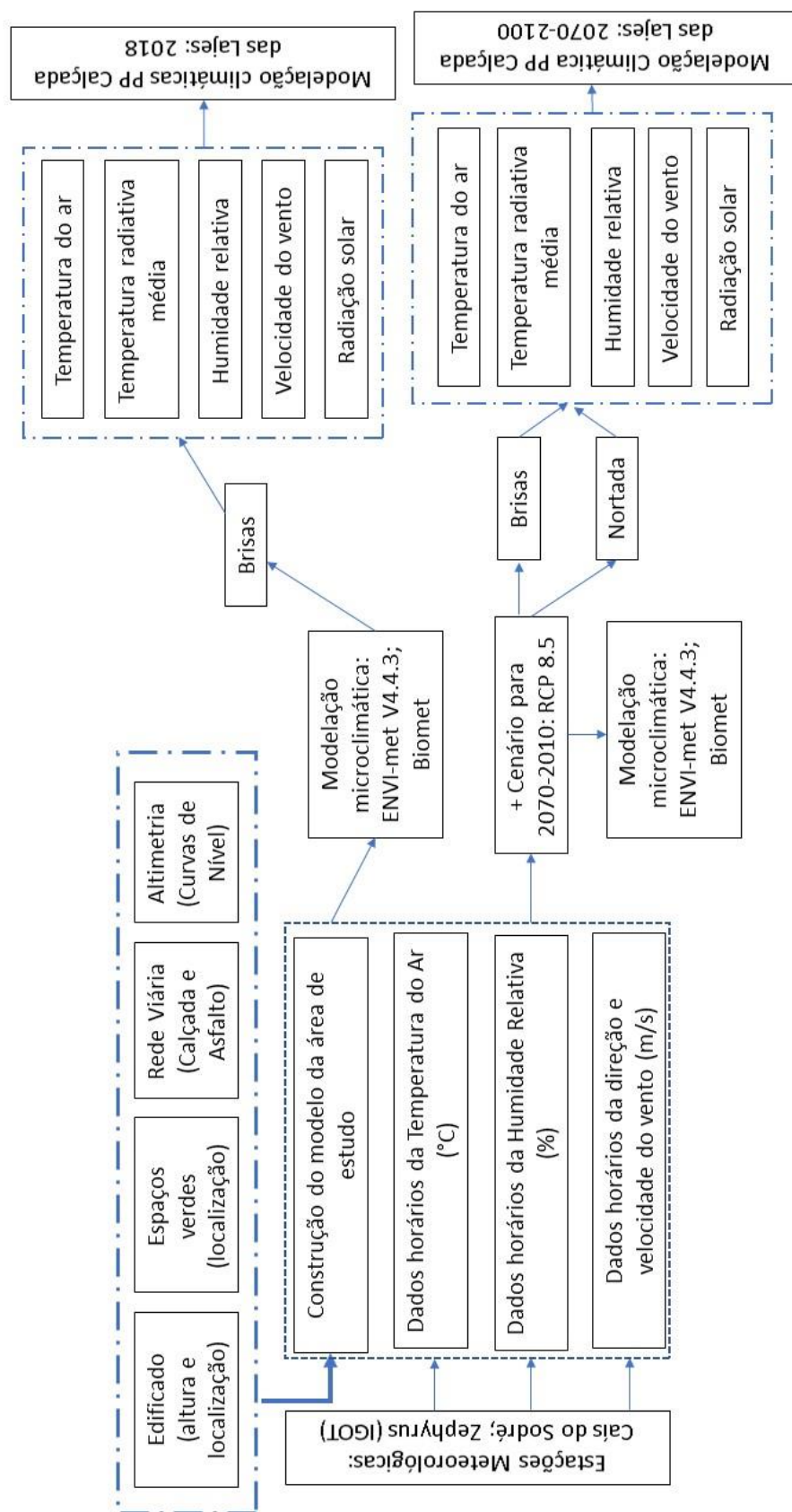


Figura 10 - Esquema-síntese da análise metodológica

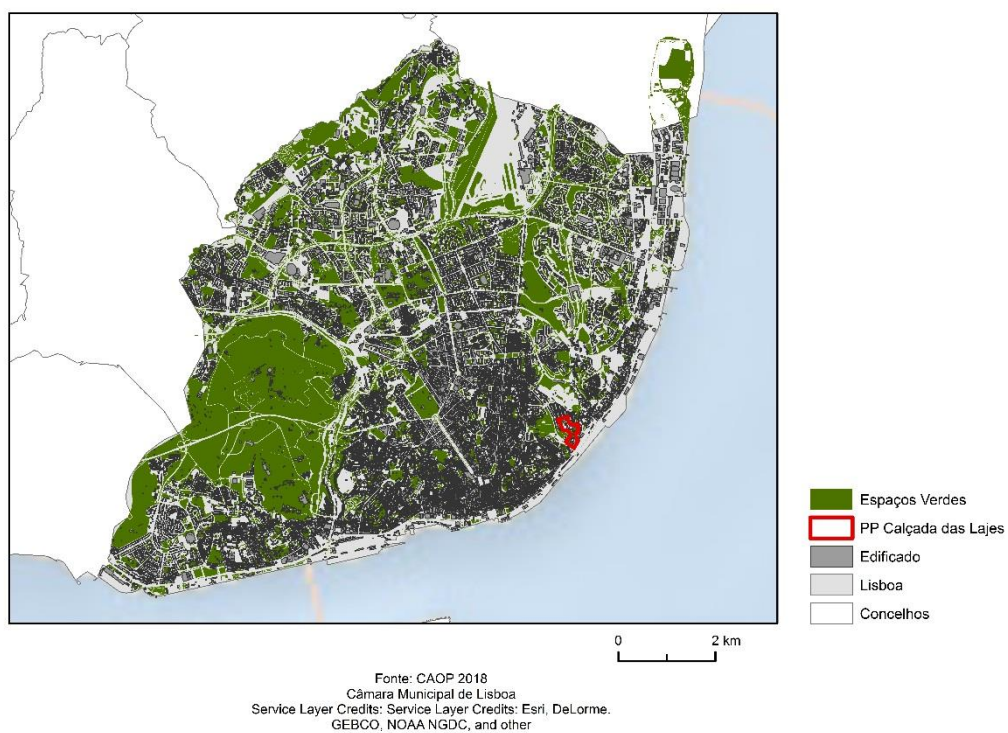


Figura 11 – Espacialização dos espaços verdes e edificado na cidade de Lisboa

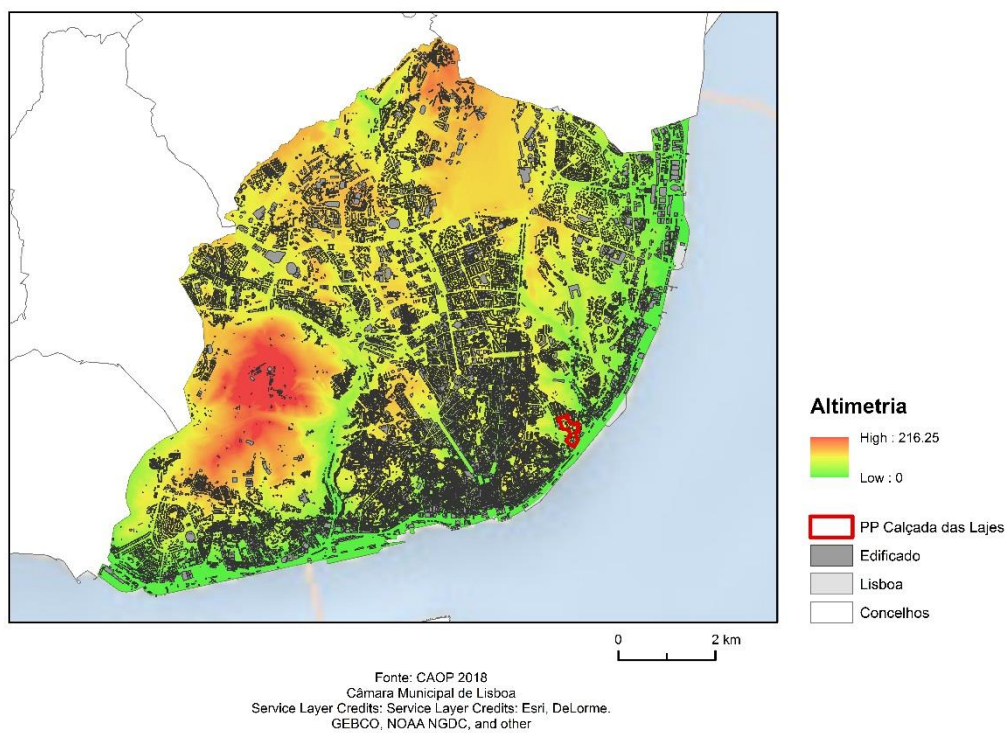


Figura 12 – Modelo digital de terreno da cidade de Lisboa

Seguidamente, foi necessário obter os dados meteorológicos para iniciar os modelos microclimáticos, tendo sido recolhidos valores de:

- Temperatura do ar (°C);
- Humidade relativa (%);
- Velocidade (m/s) e direção do vento.

Primeiramente, foi necessário escolher quais os dias que seriam estudados para o Verão de 2018, pois, como já foi referido anteriormente, o conforto térmico tem sido estudado principalmente nesta estação, devido às características do regime de vento (Nortada e Brisas), que levam a que surjam maiores alterações nas condições climáticas existentes na cidade, como é o caso das ilhas de calor urbano (Lopes, 2003; Alcoforado *et al.*, 2005). Foram escolhidos dois dias no mês de agosto: o primeiro dia foi 09-8-2018, que foi escolhido devido ao regime de ventos que detêm, a direção dos ventos norte e nordeste, demonstrando as características essenciais de um dia com influência da Nortada. O outro dia em análise foi o 27-08-2018, que apresenta características do vento essencialmente de Sudeste e Su-sudeste, sendo escolhido esse dia para a avaliação do conforto bioclimático, tendo em consideração o regime de brisas do estuário do Tejo.

No que diz respeito às estações meteorológicas escolhidas para a recolha de dados, foram escolhidas duas, uma localizada no sul da cidade de Lisboa e outra a norte (figura 13):

- Estação meteorológica do Caís do Sodré, que pertence ao grupo Transtejo-Soflusa. A sua localização junto ao rio Tejo é fundamental para as características dos dados retirados. Esta estação foi instalada em 2010, no Terminal Fluvial do Cais do Sodré. Os dados podem ser obtidos em tempo real e retirados a partir do sítio da internet da estação (<http://meteo.transtejo.pt/>);

- Estação meteorológica do IGOT, operada pelo Grupo Zephyrus (*Climate Change and Environmental Systems Research*), localizada a norte da cidade de Lisboa. Os dados foram obtidos a partir do sítio <http://zephyrus.ulisboa.pt/content/zephyrus-weather-station>.

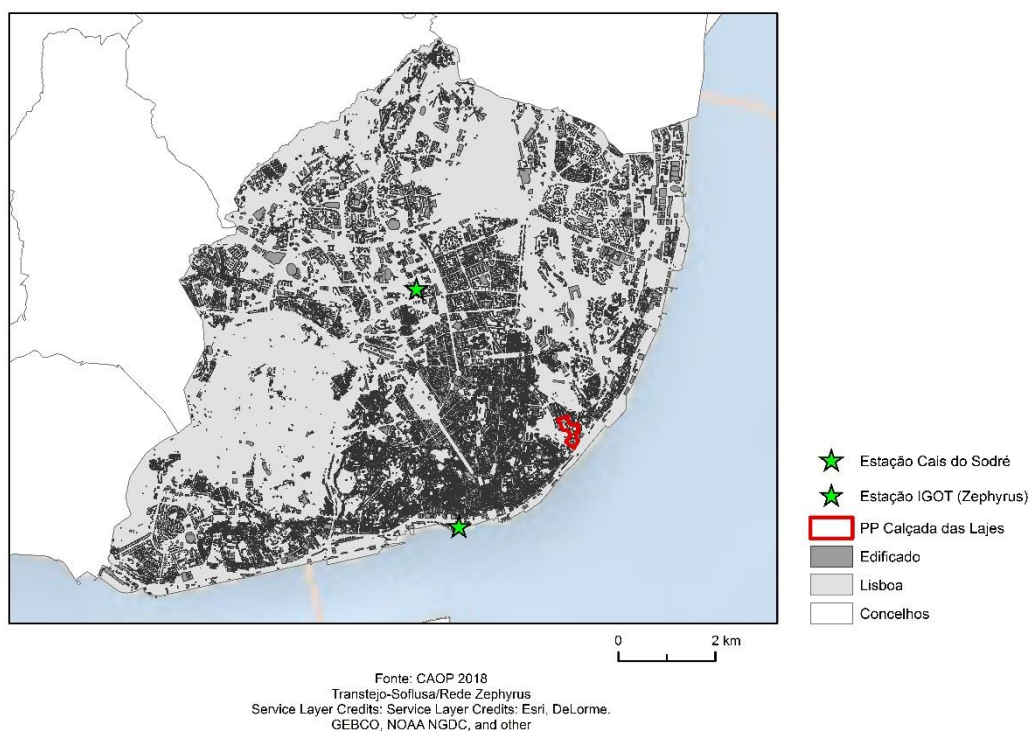


Figura 13 – Localização das estações meteorológicas utilizadas

Em relação aos dados para a projeção dos cenários futuros (2070-2100) foi utilizado o Portal do Clima (<http://portaldoclima.pt/pt/>). Os dados recolhidos referem-se aos “Ensembles” dos RCP 8.5 (cenário mais severo), considerando as projeções climáticas regionais do AR5 (IPCC, 2013), nas quais é previsto um aumento de +4°C, no que diz respeito à temperatura do ar e uma diminuição de 4%, em relação à humidade relativa, como valores de referência de entrada no modelo.

Para desenvolver os modelos microclimáticos foi utilizado diverso *software* (tabela 5).

Tabela 5 – *Software* utilizado e respetiva finalidade

<i>Software</i>	Finalidade
<i>ArcMap 10.5.1</i>	Representar o edificado e espaços verdes da cidade de Lisboa; apresentação dos resultados finais extraídos do software ENVI-met
<i>ENVI- met 4.4.3</i>	Modelação microclimática de diferentes variáveis meteorológicas na área de estudo
<i>Biomet</i>	Cálculo do índice UTCI tendo como base as brisas e a Nortada; cálculo da situação atual e futura (2070-2100) do UTCI na área de estudo

3.3 Modelação ambiental microclimática (ENVI-met)

Antes de realizar a modelação foi necessário escolher o *software* mais adequado para simular os cenários climáticos. A escolha do modelo ENVI-met deve-se, sobretudo, a este ser um modelo microclimático tridimensional, não hidrostático e inclui um modelo unidimensional simples do solo, um modelo de transferência radiativa e um modelo de vegetação (Bruse and Fleer, 1998 cit. Huttener *et al.*, 2008). Desenvolvido pelo Prof. M. Bruse e a sua equipa da Universidade de Mainz. O Envi-met destaca-se dos outros modelos atmosféricos de grande escala utilizados para projeções de tempo diário ou das condições climáticas futuras devido à sua resolução temporal e espacial, conseguindo simular a interação entre a atmosfera, solo, vegetação e edifícios a um nível de microescala, tornando-se assim uma ferramenta ideal para planeadores urbanos, arquitetos e climatologistas urbanos que pretendem simular os componentes meteorológicos do ambiente urbano (Huttner, 2012).

O ENVI-met leva em consideração a radiação solar (direta, refletida e difusa) e calcula a temperatura radiativa média, incluindo nos seus cálculos dos fluxos radiativos, o sombreamento, a absorção da radiação, bem como a radiação de outras camadas do plano (Bruse, 2007 cit. Rosheidat *et al.*, 2008). Com limitação, apresenta uma grelha de construção limitada em relação à forma real dos edifícios, como também apesar de poder ser utilizado gratuitamente, o que é uma vantagem, neste momento o *software* gratuito encontra-se com um limite de construção 50x50x40m. Outra limitação é de não conseguir criar estruturas de sombreamento, independentes da sombra criada pelos edifícios e também não permite simular a turbulência da água, sendo o uso estratégico da água, limitado aos corpos de água parada (Rosheidat *et al.*, 2008).

No que diz respeito à construção do modelo físico tridimensional (3D) representativo da área de estudo., foi inicialmente criado o modelo para a área maior, que enquadra a área do PP da Calçada das Lajes e envolvente, no entanto devido à dificuldade em correr o modelo e devido às suas elevadas dimensões, que leva a um tempo de execução de vários dias, decidiu-se retirar uma pequena parcela da área de estudo para representar as diferenças microclimáticas sentidas num cenário futuro (tabela 6).

Tabela 6 – Características do modelo 3D completo no ENVI-met

Desenho do modelo	Modelo Atual (2018)	Modelo futuro (2070-2100)
Área (células)	250x190x30m	43x30x30m
<i>Nesting grids</i>	10	3
Resolução das células (m)	2x2x2	2x2x2
Rotação do Modelo	0°	0°
Localização	Lisboa	Lisboa
Latitude	38°42'	38°42'
Longitude	-9°11'	-9°11'

As duas áreas em estudo foram reproduzidas no software *ENVI-met*, tendo a primeira uma área de elevadas dimensões, como foi mencionado anteriormente. Essa área é de 250x190x30m, para que fosse representada com o maior detalhe, demonstrando a área a ser intervencionada pelo PP em formato real e para que também

fosse representativo a proximidade ao rio Tejo (figura 14). A segunda área, de dimensões mais pequenas de 43x30x30m, representa um corte, numa das áreas do PP mais intervencionadas (figura 15).

Ao modelo foram acrescentadas 10 *nesting grids* no caso da área de estudo maior e na área cortada, 3 *nesting grids*. Em ambos os modelos, foram representados os edifícios, as áreas verdes, o tipo de pavimento do solo e também a altimetria.

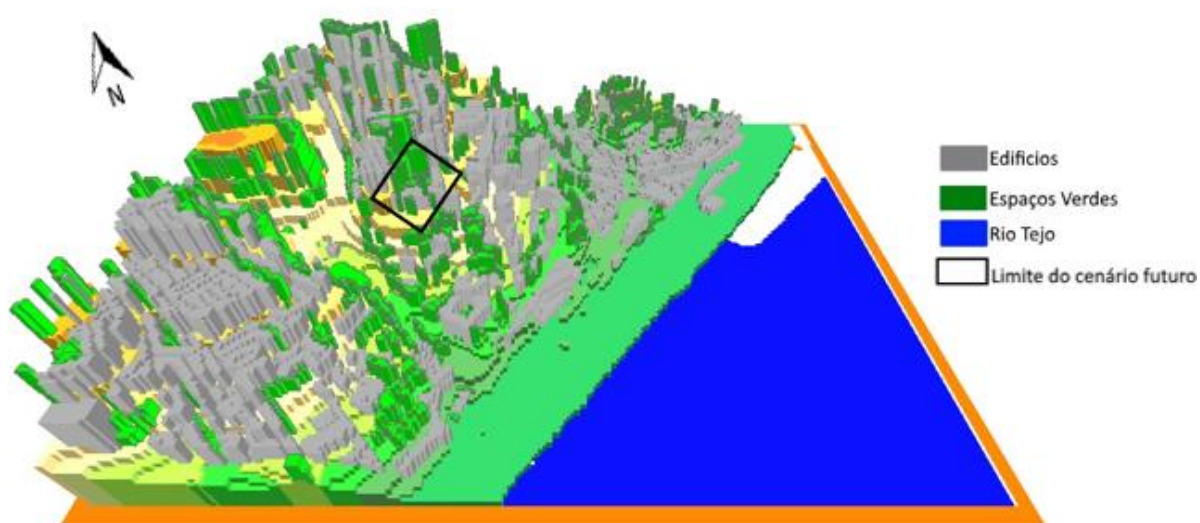


Figura 14 – Representação do modelo em 3D para a situação atual

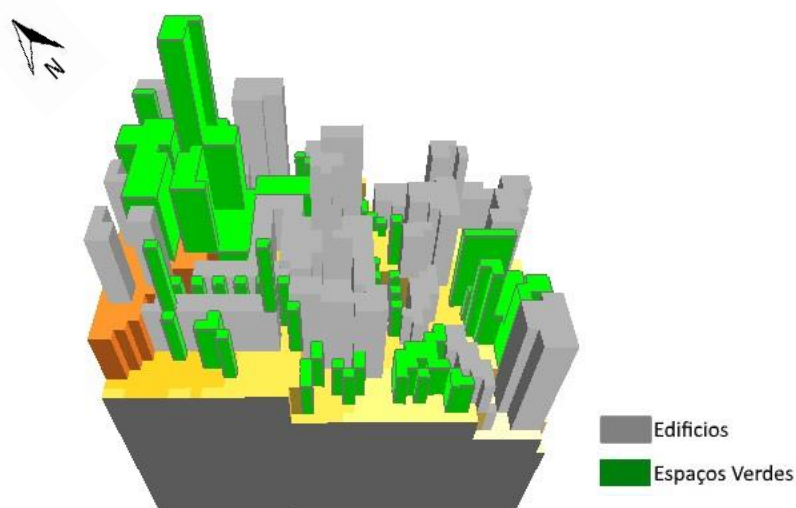


Figura 15 – Representação da parcela do modelo 3D utilizado para a modelação do cenário futuro

Para correr os modelos, foi necessário colocar dados de entrada no modelo ENVI-met (*ENVIguide*) para os dias em análise. De realçar que o modelo atual só foi corrido para o dia 27-08-2018 que representa a influência do regime de brisas. Para os cenários da projeção futura, foram utilizados como base os dados retirados para os dois dias em análise (9-08 e 27-08) para 2070-2100, tendo como base os RCP 8.5 (cenário mais extremo), representado na tabela 7. Esses dados foram retirados, para a situação com influência do regime de ventos de brisa, da Transtejo-Soflusa e os dados com situação de influência do regime de ventos de Nortada, da estação Zephyrus (IGOT).

Tabela 7 - Condições iniciais para a modelação no *ENVI-met*

	Modelo atual (Brisa)	Modelo futuro RCP 8.5 (Nortada)	Modelo futuro RCP 8.5 (Brisa)
Dia de início da simulação	27-08-2018	Base 09-08	Base 27-08
Hora de início da simulação	07:00	07:00	07:00
Total de horas de simulação	24h	24h	24h
Velocidade do vento (m/s) a 10 metros de altitude	3	3.7	3
Direção do vento (°)	157,5	14	157,5
Temperatura do ar inicial (°C)	19,8	21,6	23,8
Humidade relativa a 2 metros (%)	85	75,9	81,6

Os dados climáticos da temperatura do ar (°C) e da humidade relativa (%) que foram inseridos para correr o modelo estão representados nas figuras 16 a 19. Nas figuras são demonstradas as variações da temperatura e humidade para a situação atual e para o cenário RCP 8.5 com os aumentos previstos da temperatura e da humidade, indicados anteriormente.

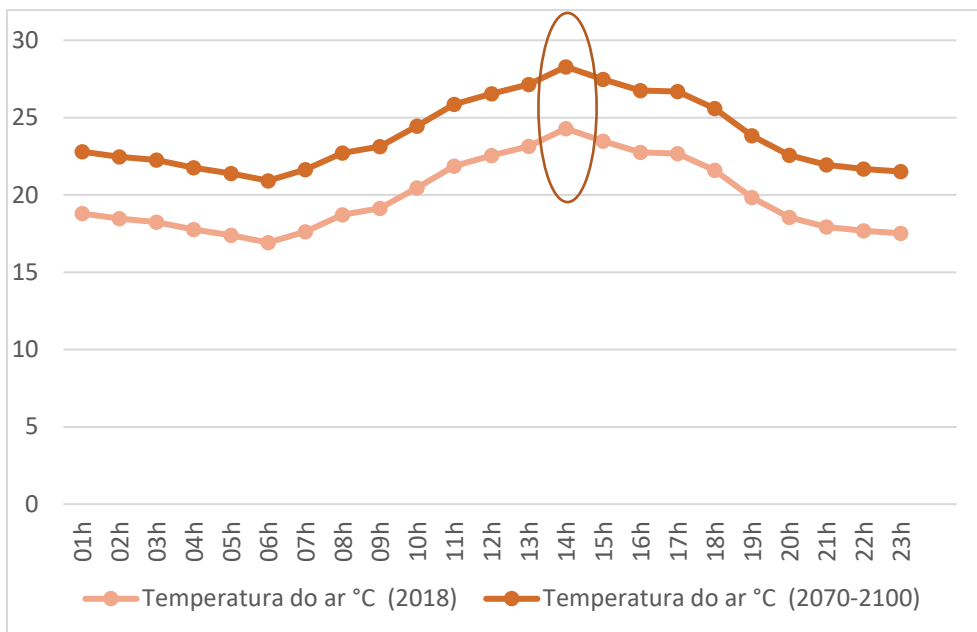


Figura 16 – Temperatura do ar (°C) atual e futura (2070-2100), condição representativa da nortada

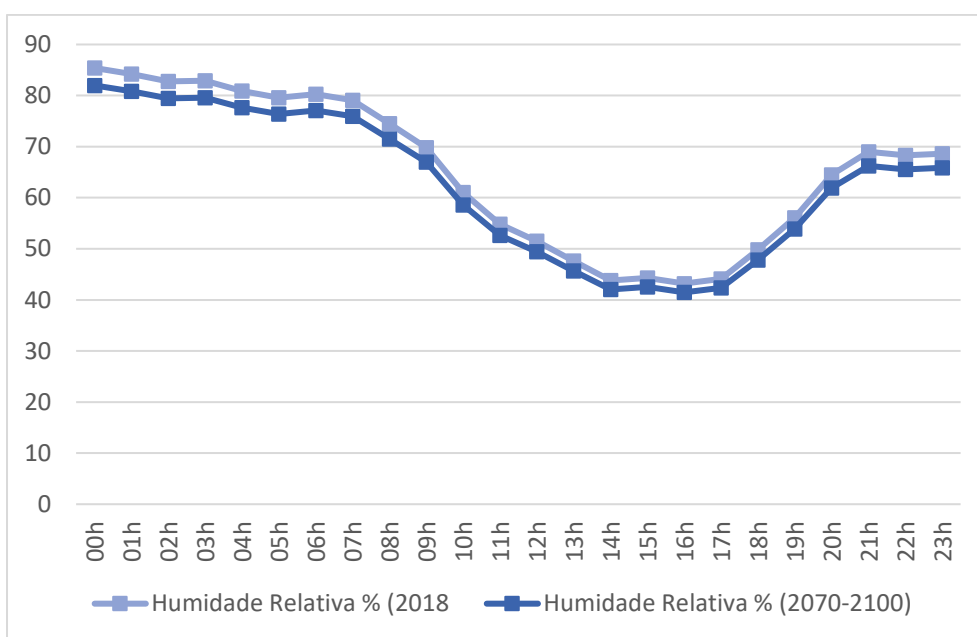


Figura 17 – Humidade Relativa (%) atual e futura (2070-2100), condição representativa da nortada

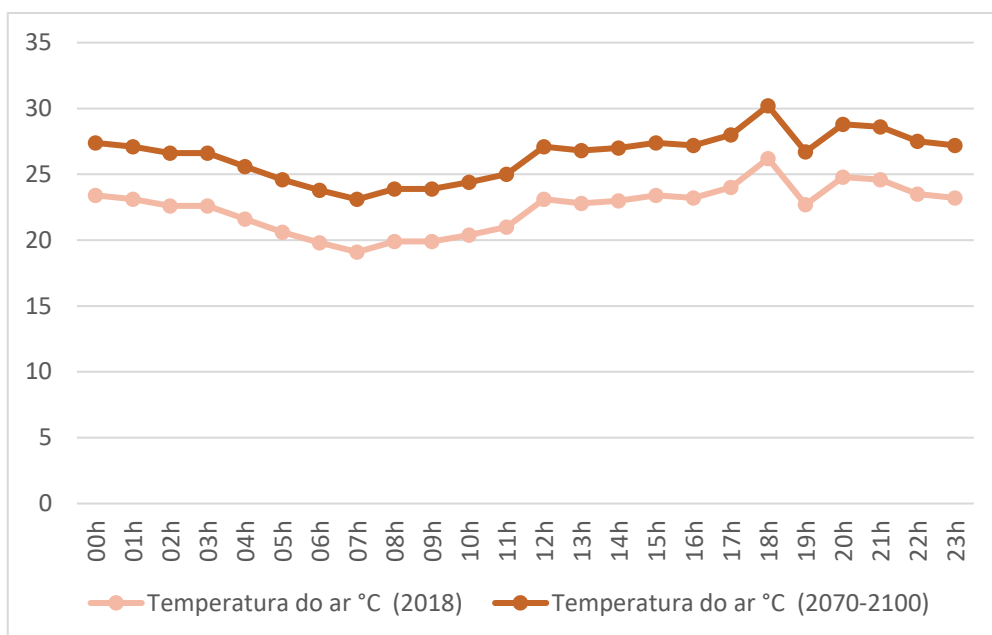


Figura 18 – Temperatura do ar (°C) atual e futura (2070-2100), condição representativa da brisa

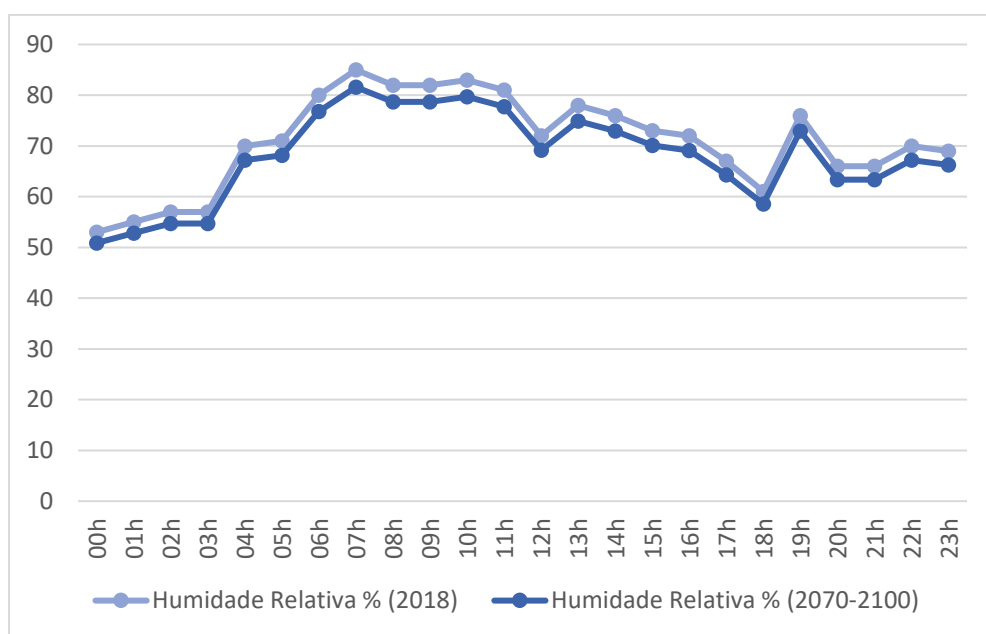


Figura 19 – Humidade Relativa (%) atual e futura (2070-2100), condição representativa da brisa

Foi escolhida uma única hora para se apresentar os resultados finais da modelação climática do índice UTCI, a meio do dia (14h), tanto para o dia 09-08-2018, como para o dia 27-08-2018. Esta hora foi recolhida devido aos valores de pico de

temperatura do ar e de humidade relativa mais baixo, ser a essa hora no regime de nortada (9-08-2018), um dos regimes de vento que ocorre maioritariamente no Verão, por isso tem assim uma elevada importância para as características do clima urbano sentido na cidade de Lisboa. Para obter os resultados finais do UTCI foi necessário utilizar o software *Biomet* que pertence ao ENVI-met e que é designado para obter resultados de diversos índices utilizados para o estudo do conforto térmico bioclimático à microescala, sendo que na figura 20 está representada o modelo de entrada no *Biomet* e quais as variáveis que tem em consideração para calcular o índice UTCI.

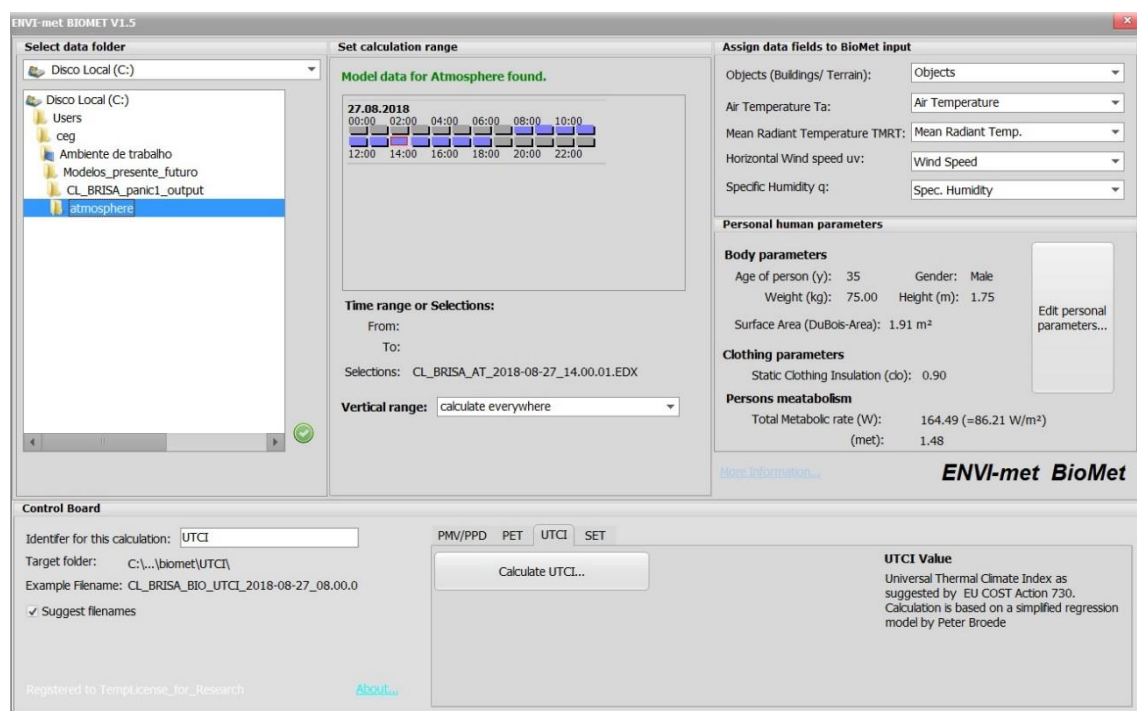


Figura 20 – Variáveis para o modelo de entrada para cálculo do UTCI no *Biomet*

Para melhor entender os resultados finais do índice UTCI existe a necessidade de representar a temperatura do ar (°C), a humidade relativa (%) e a velocidade do vento (m/s) a 0,2m de altura, às 14h nos dias em estudo, tanto para o cenário atual, como para o cenário de projeção futura utilizando RCP 8.5. Nas figuras abaixo indicadas, estão representadas as variáveis em estudo, representadas em ENVI-met. Estas figuras apenas estão representadas para ilustrar as variáveis utilizadas para processar e alcançar o índice UTCI que será desenvolvido nos resultados finais.

No cenário atual a destruibuição espacial das variáveis está representada nas figuras 21 a 24.

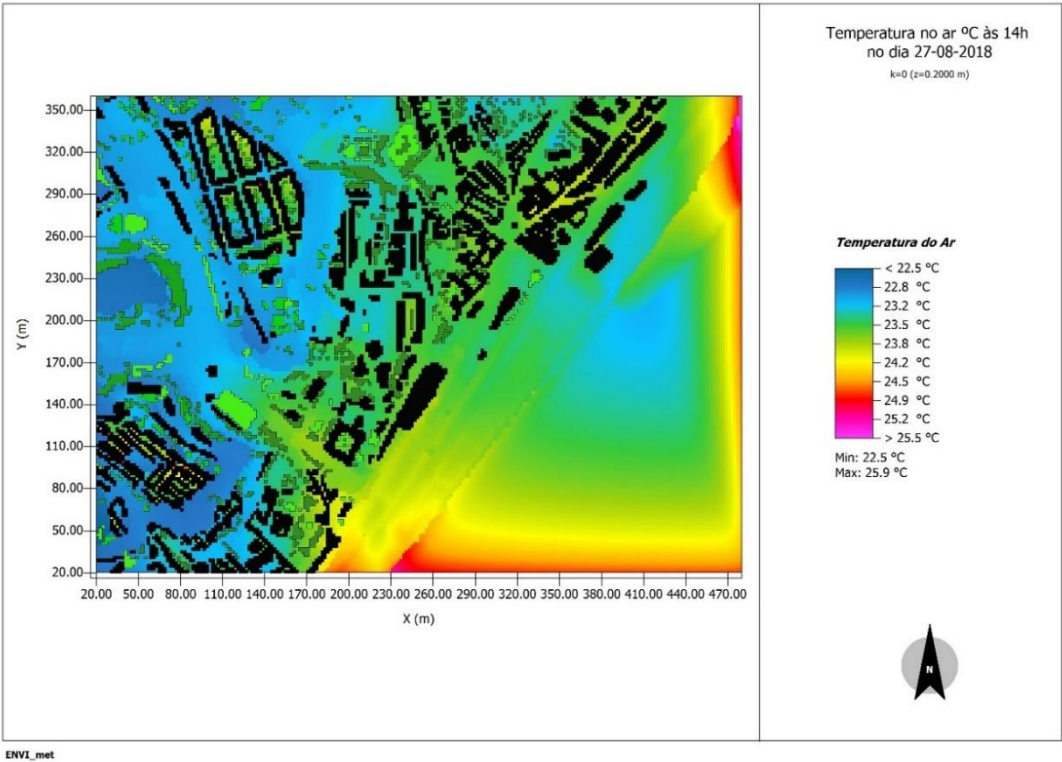


Figura 21 – Temperatura do ar (°C) às 14h no dia 27-08-2018 (brisas do Tejo)

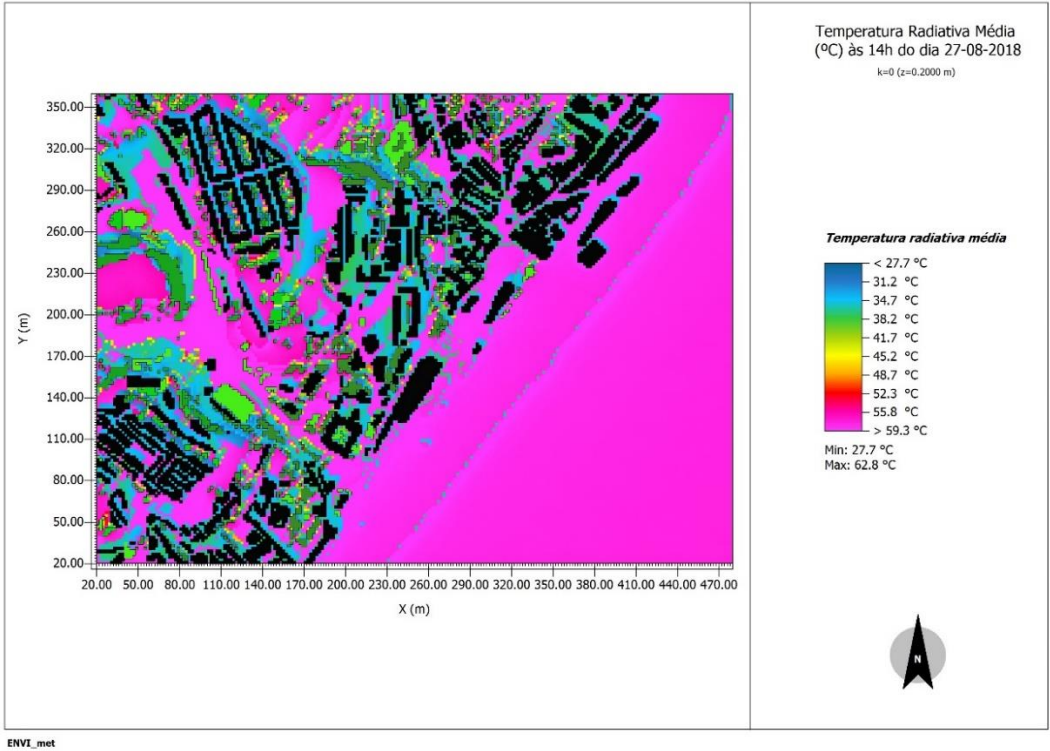


Figura 22 –Temperatura radiativa média (°C) às 14h no dia 27-08-2018 (brisas do Tejo)

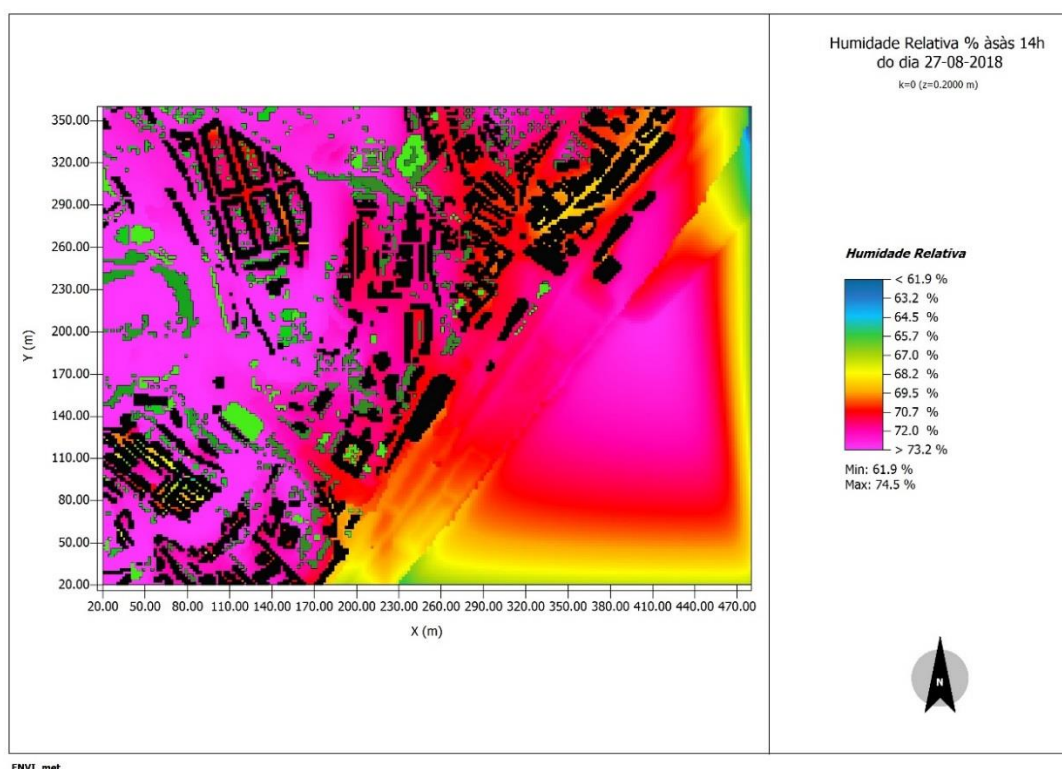


Figura 23 – Humidade relativa (%) às 14h no dia 27-08-2018 (brisas do Tejo)

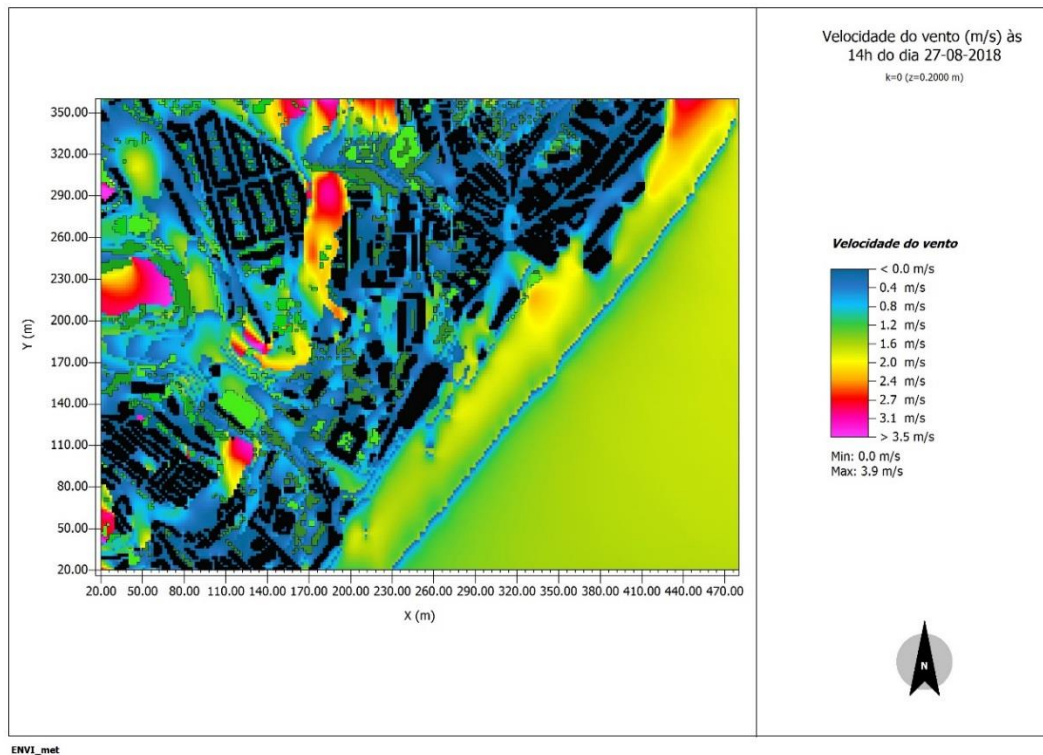


Figura 24 – Velocidade do vento (m/s) às 14h no dia 27-08-2018 (brisas do Tejo)

Em relação aos cenários da projeção futura (2070-2100), tendo como base o dia 9-08, as variáveis bioclimáticas estão representadas nas figuras 25 a 27.

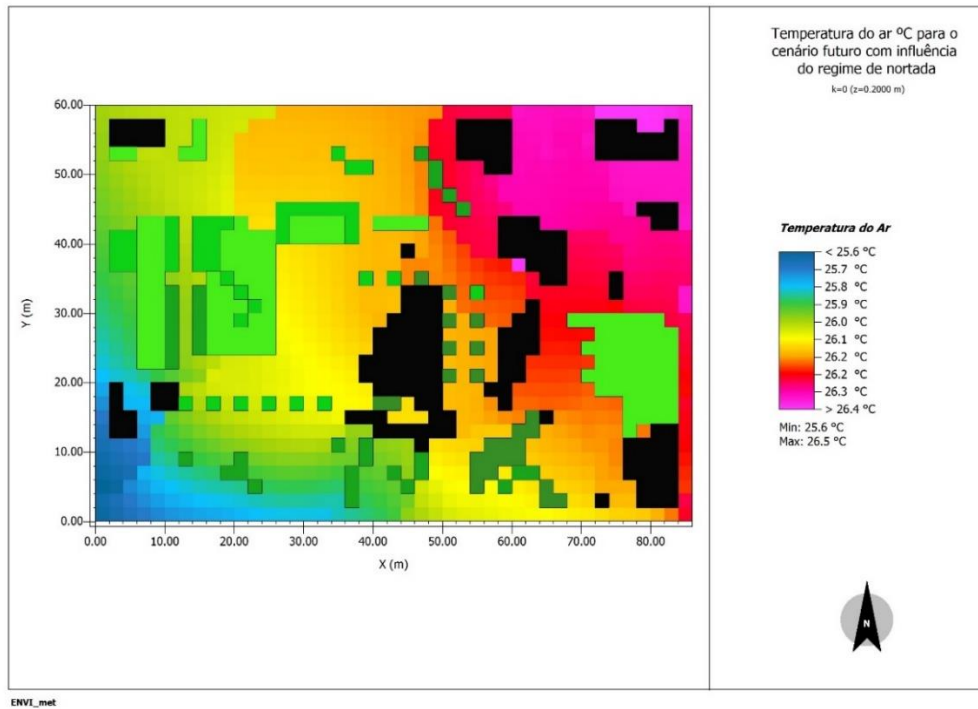


Figura 25 – Temperatura do ar (°C) no cenário futuro RCP 8.5 (2070-2100) (nortada)

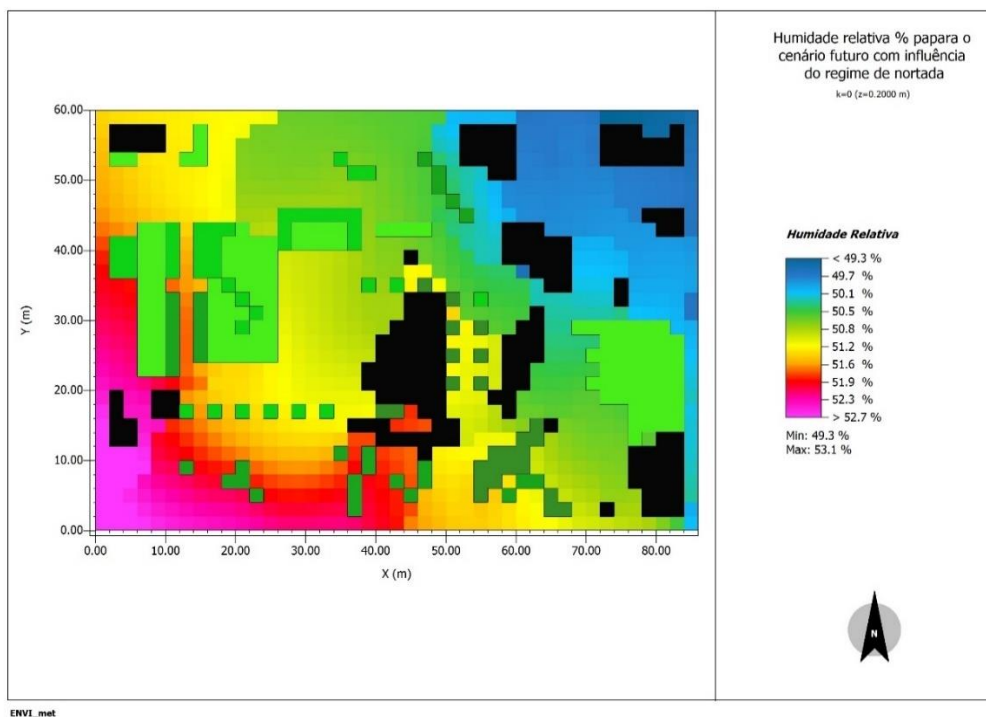


Figura 26 – Humidade Relativa (%) no cenário futuro RCP 8.5 (2070-2100) (Nortada)

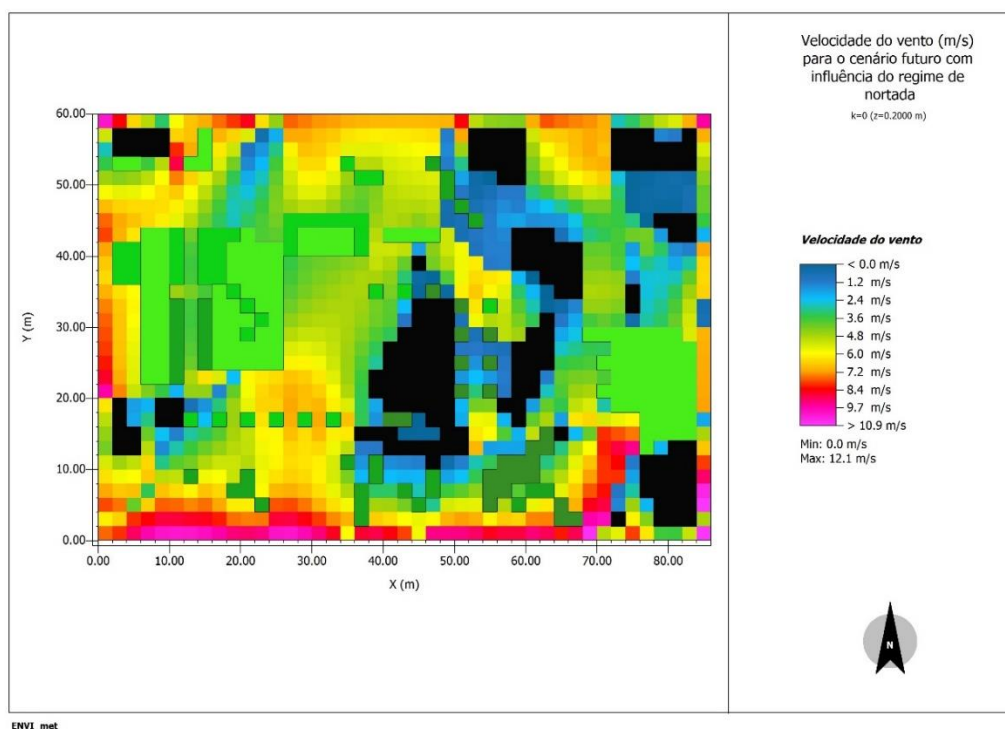


Figura 27 – Velocidade do vento (m/s) no cenário futuro RCP 8.5 (2070-2100) (Nortada)

Abaixo estão representadas as variáveis bioclimáticas para o cenário futuro RCP 8.5 (2070-2100) para o regime de brisa, baseados nos dados meteorológicos do dia 27-08 (figuras 28 a 30).

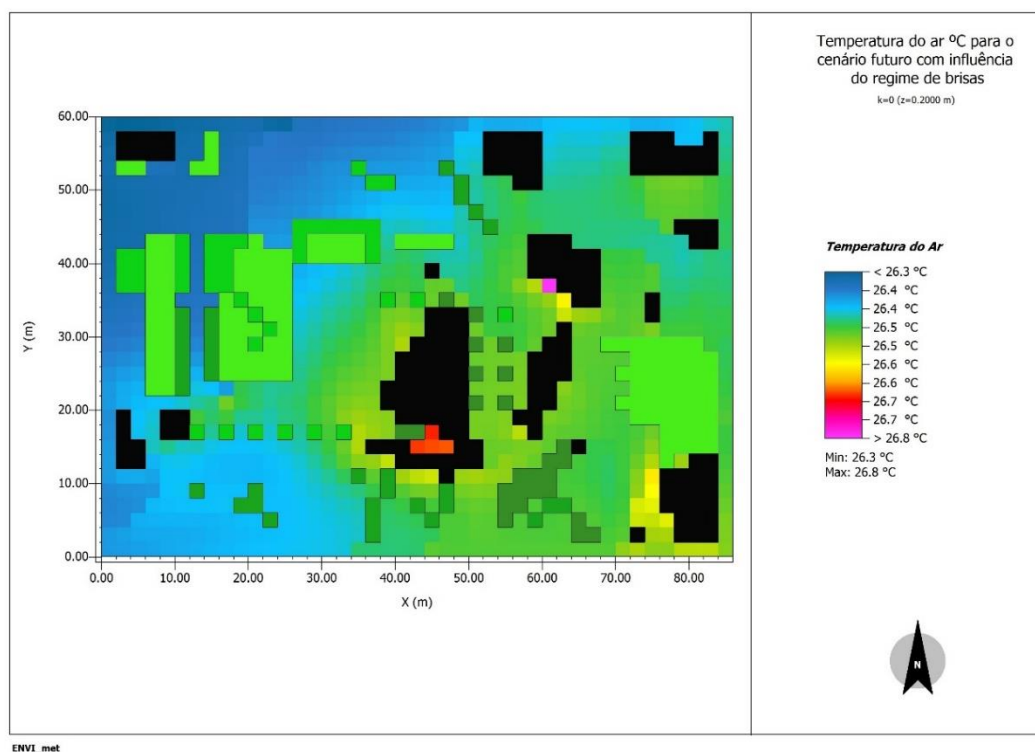


Figura 28 – Temperatura do ar (°C) no cenário futuro RCP 8.5 (2070-2100) (brisas do Tejo)

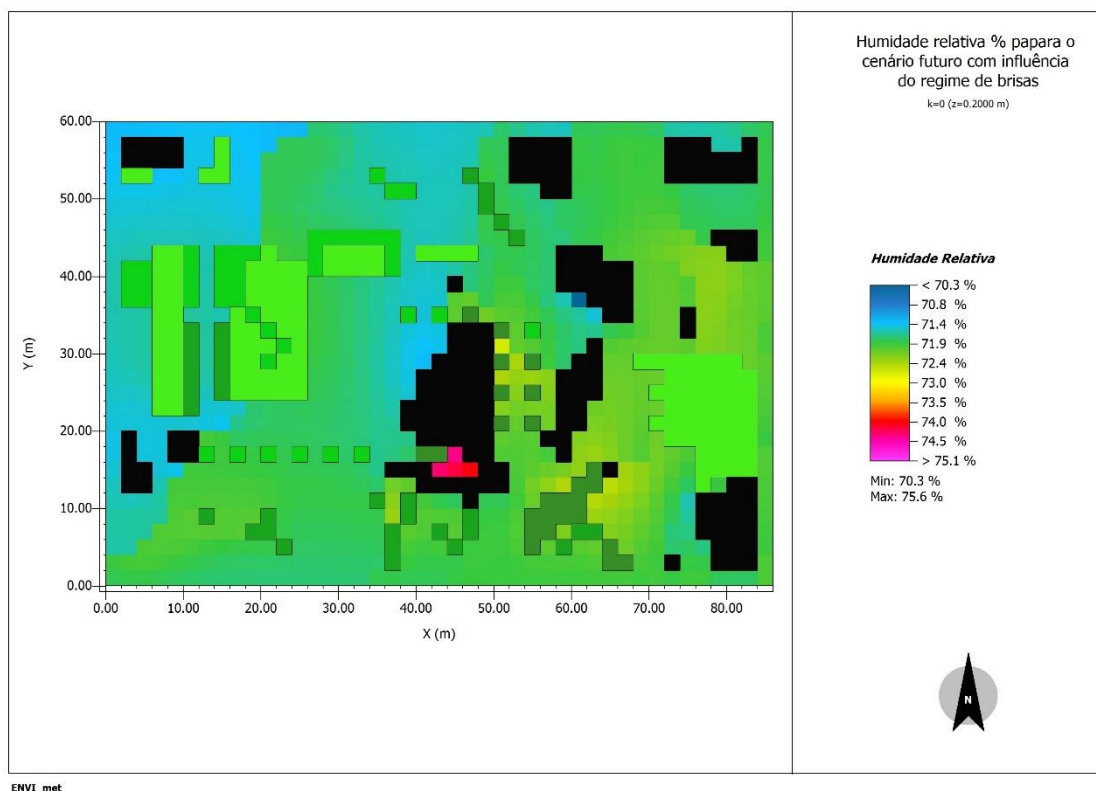


Figura 29 – Humidade Relativa (%) no cenário futuro RCP 8.5 (2070-2100) (brisas do Tejo)

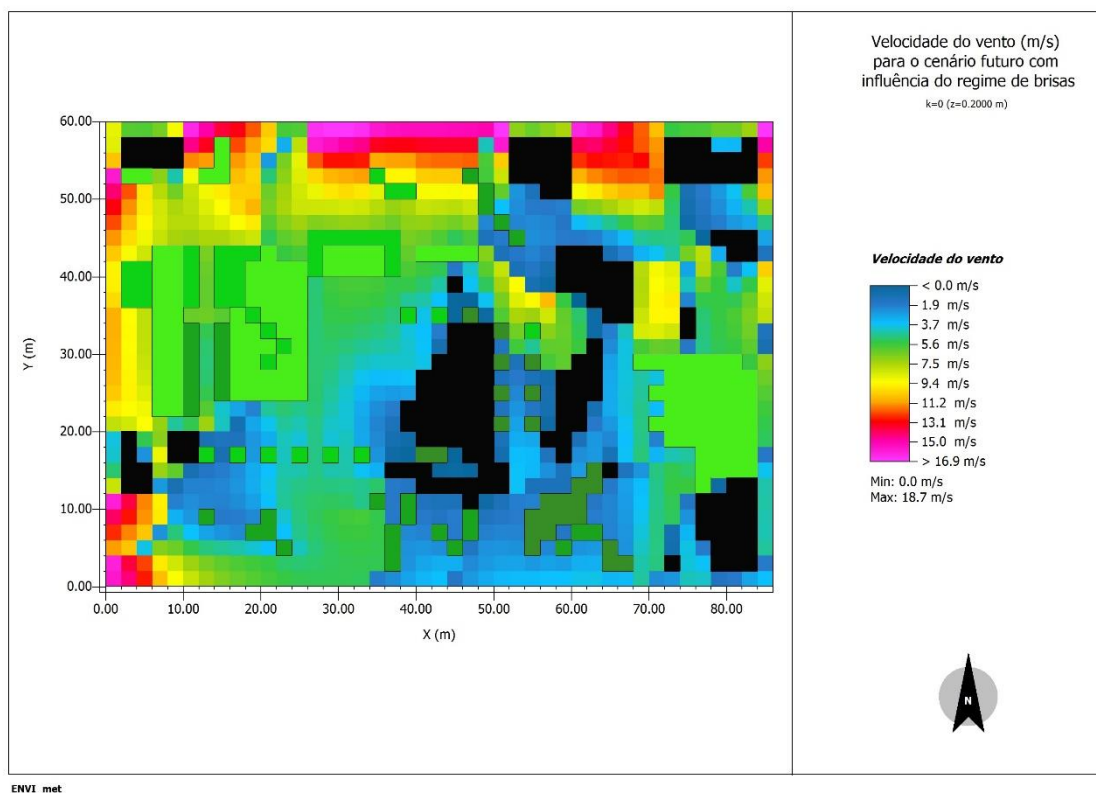


Figura 30 – Velocidade do vento (m/s) no cenário futuro RCP 8.5 (2070-2100) (brisas do Tejo)

Capítulo IV – Apresentação e discussão dos resultados do conforto termofisiológico (UTCI)

4.1 Análise da situação atual (2018) com brisa do Tejo a meio do dia

Como foi referido anteriormente, para o período atual apenas foi possível simular o regime de brisa do Tejo. Em relação aos resultados da modelação do índice UTCI observa-se que o UTCI às 14h tem uma variação espacial elevada (entre os 36°C de valor máximo e 18°C de valor mínimo).

Efetivamente, existe diversos lugares mais aquecidos junto aos edifícios onde a circulação do ar é mais dificultada e a Temperatura Radiativa Média (T_{rm}) é mais elevada, que correspondem a locais com um menor efeito de sombreamento. O rio Tejo apresenta uma temperatura ligeiramente mais elevada do que algumas ruas, que por estarem bem ventiladas e próximas de espaços verdes estão mais frescas (observa-se a temperatura do ar na figura 21, onde ronda os 22,5°C e os 23,2°C).

É possível verificar que em toda a área de estudo, onde existem áreas verdes e ruas bem ventiladas, mais ou menos, no enfiamento dos ventos provenientes do Tejo, ocorre a diminuição do UTCI de cerca de 20°C, sendo que noutros locais mais aquecidos o UTCI chega aos 36°C. Aqui o conforto térmico sentido pelos indivíduos é classificado, segunda a escala do UTCI, como “stresse com calor elevado”, principalmente na Calçada das Lajes, uma rua estreita e de construção em ambos os lados e em altura, que sob a influência de “barreira” causada por alguns edifícios junto ao rio Tejo, impedem a penetração do vento vindo do estuário. Na parte noroeste da área representada, verifica-se uma elevada influência da área verde aí situada, como se pode verificar na figura 24, onde a velocidade do vento é superior a 3,5 m/s, levando a que o conforto térmico aí sentido seja “sem stresse térmico”.

Na zona nordeste da área em estudo, os valores de UTCI são mais elevados, possivelmente, devido ao índice de construção ser mais elevado, podendo variar o conforto sentido entre o “stresse por calor moderado” e o “stresse por calor elevado”.

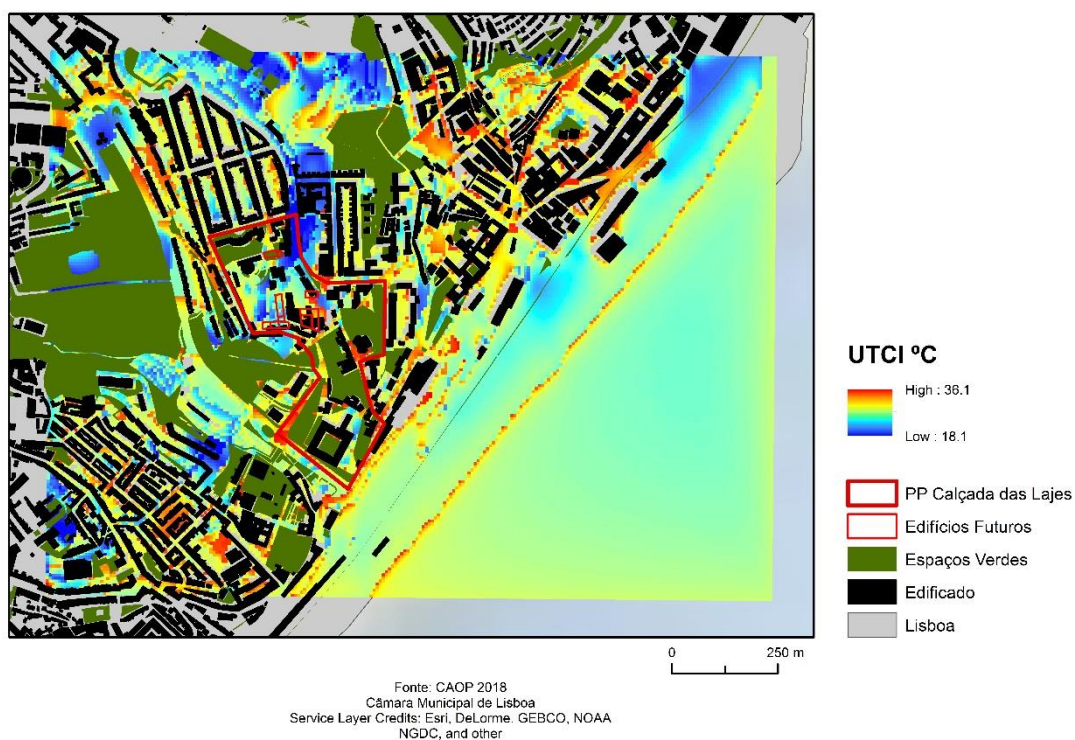


Figura 31 – UTCI para o cenário atual com regime de brisas

4.2 Análise de resultados do UTCI para o futuro: RCP 8.5 (2070-2100) a meio do dia

4.2.1 Regime de nortada

No que diz respeito à projeção futura do UTCI (2070-2100), tendo como base os cenários RCP 8.5, observa-se que sob a influência de regime de nortada (figura 32), o UTCI varia pouco, não chegando a 0.5°C de diferença dentro da área de pormenor (33,3°C e os 33,7°C). Na escala do UTCI está representando como “stresse por calor elevado”. Com este cenário é necessária uma certa atenção à localização dos novos edifícios a serem construídos pelo PP Calçada das Lajes, recomendando-se a inclusão de espécies arbóreas para minimizar o efeito de “stresse térmico elevado”.

A distribuição oeste- leste é bastante uniformizada, devido sobretudo a ser uma área de tão baixa dimensão. A construção dos novos edifícios, que estão previstos segundo o PP,

irá fazer com que a velocidade do vento diminua junto aos mesmos, como é possível ver na figura 27.

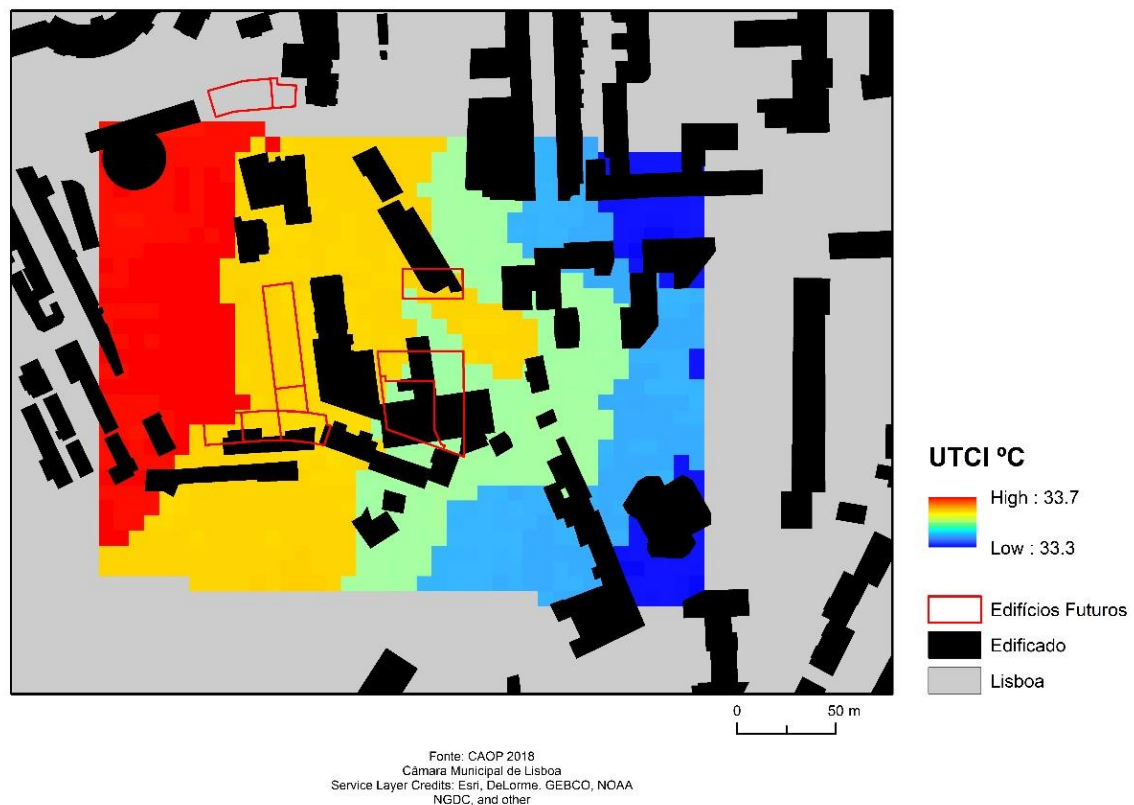


Figura 32 – UTCI para o cenário futuro (2070-2100) com regime de nortada

4.2.2 Regime de brisas do Tejo

A modelação do cenário futuro com RCP 8.5 e influência do regime de brisas (figura 33), é semelhante ao regime de nortada, sendo que também aqui o UTCI não varia mais do que 0,5°C. Nestas condições os valores variam entre os 30,6°C e os 31,1°C (ligeiramente inferiores ao da nortada), dentro da classe de “stressse por calor moderado”.

Comparando a situação futura (final do Séc. XXI) com o modelo da situação atual, pode-se afirmar que esta área atualmente se encontra com valores de UTCI entre os 19°C e os 26°C “sem stressse térmico”, no cenário futuro projeta-se que passe a estar

numa classe de stress térmico superior (stress moderado), mesmo sob a influência das brisas do Tejo.

Por outro lado, a situação de nortada afigura-se pior no que toca ao conforto térmico, do que a dos sistemas de brisas, muito provavelmente devido ao efeito de barreira a norte, já descrito por Lopes *et al.* (2013).

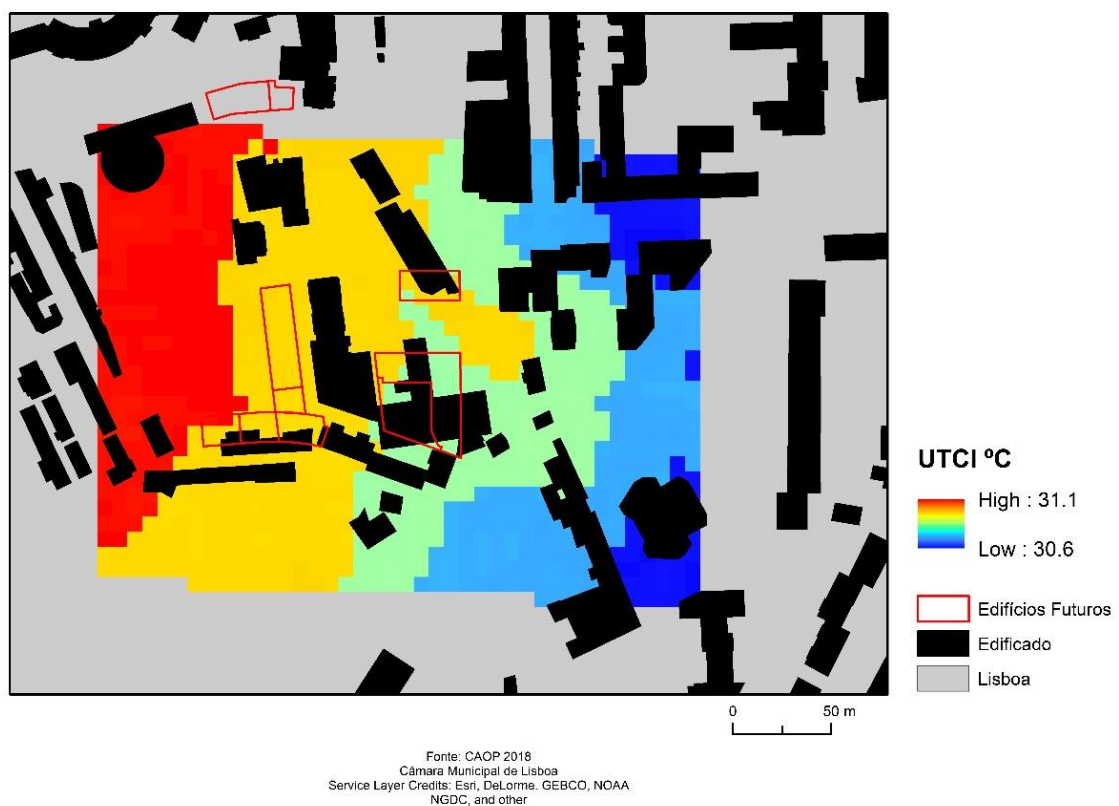


Figura 33 – UTCL com o cenário futuro (2070-2100) com regime de brisas

Capítulo IV – Conclusões

O estudo do conforto térmico continua a ser um dos pontos fulcrais para o clima urbano e a habitabilidade das cidades. A qualidade de vida dos habitantes está efetivamente ligada ao nível de conforto e bem-estar sentido. A expansão urbana algo desorganizada das cidades, como se tem vindo a observar em Lisboa, trouxe consequências indeléveis para o clima urbano, existindo a necessidade de estudar a influência dessas consequências e o que pode ser feito para mitigar os impactes causados (Alcoforado *et al.*, 2005), sobretudo tendo em conta as alterações climáticas que já se fazem sentir.

O ambiente microclimático é essencial para o clima urbano da cidade, no entanto a maioria dos estudos realizados foram feitos à mesoescala, sendo essencial desenvolver mais estudos bioclimáticos sobre os microclimas de bairros da cidade, como aquele que se apresenta nesta dissertação.

Para analisar o conforto térmico humano torna-se essencial a escolha de um modelo que tenha em consideração todas as variáveis bioclimáticas, mas essencialmente que tenha em consideração as características físicas dos indivíduos, tendo essas bastantes influências no seu conforto térmico.

Nesta dissertação optou-se por utilizar um índice universal (UTCI) que representa a resposta fisiológica do corpo humano em qualquer local, tendo em consideração as características ambientais e a reação do corpo humano em relação às condições onde se encontra (Nascimento, 2018).

Numa altura que são previstas bastantes alterações no que diz respeito à temperatura do ar e humidade, devido às alterações climáticas projetadas, que terão consequências sobre a ocorrência com maior frequência de eventos extremos, como ondas de calor, é essencial realizar projeções para o futuro, utilizando os RCPs

desenvolvidos pelo IPCC (2013) que auxiliam na modelação de cenários futuros e em situações extremas.

Tendo esta dissertação como objetivo principal avaliar o conforto térmico sentido pelos indivíduos na Calçada das Lajes e envolvente, atualmente (2018) e para o futuro (2070-2100) através do RCP 8.5 (cenário mais extremo), através do UTCI, foram obtidas as seguintes conclusões:

- Atualmente a área do PP, quando afetada pelas brisas, apresenta um conforto térmico sentido pelos indivíduos segundo a escala do UTCI de “stresse com calor elevado” dado que apresenta valores entre os 36°C e os 18°C, no entanto, analisando a área de estudo recortada, esta encontra-se entre os 19°C e os 26°C, ou seja, “sem stresse térmico”.
- Em ambos os cenários futuros (em regime de brisas e de nortada) projeta-se uma variação pouco significativa em relação aos valores do UTCI, variando pouco, não chegando a 0.5°C. No entanto, sob influência de regime de nortada o UTCI apresenta valores ligeiramente mais elevados (33,3°C e os 33,7°C), enquanto que com brisa apresenta valores entre 30,6°C e os 31,1°C.
- Nos cenários futuro, as brisas são mais benéficas para o PP do que a nortada devido ao efeito de abrigo causado pela edificação situada a norte da área em estudo, que é densa pois, a cidade desenvolveu-se para norte, levando a que em regime de nortada, o vento tenha mais dificuldade em penetrar na cidade de Lisboa

Numa perspetiva futura, seria interessante dar continuidade ao presente trabalho, estudando mais situações (por exemplo a várias horas do dia) e alargar a área de estudo. Seria igualmente interessante aplicar esta metodologia a outros PP da cidade de Lisboa, o que estamos em crer será da vontade da CML, ou mesmo noutras cidades. Avaliar o conforto termofisiológico atual, tendo em conta o que a população realmente sente, nomeadamente através da realização de inquéritos de satisfação dos indivíduos, será um desígnio importante em trabalhos futuros, de modo a podermos mais eficientemente enfrentar as alterações climáticas e os seus efeitos nefastos na saúde das populações, sobretudo as mais vulneráveis.

Bibliografia

APA (2015) – *Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas 2020 (ENAAAC)*.
Agência Portuguesa do Ambiente, Portugal.

Agência Portuguesa do Ambiente (2016) - Projeto ClimAdaPT.Local - Estratégias municipais de adaptação às alterações climáticas.
<https://apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=81&sub2ref=118&sub3ref=395>, consultado a 02/07/2019.

Alcoforado MJ. (1986) – Contribution to the study of Lisbon's heat Island: Analysis from an infra-red image. *Freiburger Geographische Hefte*, 26: 165-176

Alcoforado MJ. (1987) – Brisas estivais do Tejo e do Oceano na região de Lisboa. *Finisterra – Revista Portuguesa de Geografia*, XXII (43): 71-112

Alcoforado MJ (1992) – *O Clima da Região de Lisboa: Contrastes e Ritmos Térmicos*.
Centro de Estudos Geográficos. Universidade de Lisboa

Alcoforado MJ., Lopes A., Andrade H. e Vasconcelos J. (2005) – *Orientações climáticas para o ordenamento em Lisboa*. Centro de Estudos Geográficos. Área de investigação de Geo-Ecologia. Universidade de Lisboa.

Alcoforado, M.J. & Andrade, H, (2006) – Nocturnal urban heat island in Lisbon (Portugal): main features and modelling attempts. *Theoretical and Applied Climatology*, 84, (1-3), 151-160

Alcoforado MJ., Andrade H., Lopes A., Oliveira S., Fragoso M., Lombardo M. e Matzarakis A. (2008) – *Estudos sobre Cidades e Alterações Climáticas*. Área de investigação de Geo-Ecologia. Centro de Estudos Geográficos. Universidade de Lisboa

- Alcoforado MJ, Lopes A., Alves E., Canario P. (2014) - Lisbon Heat Island: statistical study (2004-2012). *Finisterra* 49 (98):61-80
- Andrade H. (1998) – O Desconforto Térmico Estival em Lisboa: Uma Abordagem Bioclimática. *Finisterra – Revista Portuguesa de Geografia*, Lisboa, XXXIII, 66: 41-58
- Andrade H. e Lopes A. (1998) - *A utilização de um SIG para a estimação das temperaturas em Lisboa*. IV Reunión Nacional de Climatología. Madrid
- Andrade H. (2003) - *Bioclima humano e temperatura do ar em Lisboa*. Doutoramento em Geografia Física. Faculdade de Letras. Universidade de Lisboa.
- Andrade H., Alcoforado MJ. (2008) - Microclimatic variation of thermal comfort in a district of Lisbon (Telheiras) at night. *Theoretical and Applied Climatology*, 92(3-4): 225-237
- Andrade H., Alcoforado MJ., Oliveira S. (2010) - Perception of temperature and wind by users of public outdoor spaces: relationships with weather parameters and personal characteristics. *International Journal of Biometeorology*, 55:665-680
- Auliciems A. (1981) - Towards a Psycho-Physiological Model of Thermal Perception. *International Journal of Biometeorology*, 25: 109-122.
- Auliciems A. (1983) - Psycho-physiological criteria for global zones of building design. In: Overdieck O, Muller J, Lieth H (eds) *Proceedings 9th International Society of Biometeorology Conference*, (pp. 69–86), Part 2, Biometeorology 8. Swets and Zetlinger, Lisse
- Auliciems A. (1997) – Human Bioclimatology: An Introduction. In: A. Auliciems, (ed) *Advances in Bioclimatology – 5. Human Bioclimatology*. Queensland. Australia. Springer. 5:1-6

- Auliciems A., De Dear R. (1997) – *Thermal adaptation and Variable Indoor Climate Control*. In: A. Auliciems, (ed.) *Advances in Bioclimatology – 5. Human Bioclimatology*, Queensland, Australia, Springer. 5: 61-86
- Baltazar S. (2010) – *Mapas bioclimáticos de Lisboa*. Dissertação de Mestrado em Geografia Física e Ordenamento do Território. Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa
- Błażejczyk K., Broede P., Fiala D., Havenith G., Holmér I., Jendritzky G., Kampmann B., Kunert A. (2010)- Principles of the new Universal Thermal Climate Index (UTCI) and its application to bioclimatic research in European scale, *Miscellanea Geographica*, 14 :91-102
- Bracarense L., La Cruz B., Monteiro A., Santos A., Venâncio S., Pereira E. (2018) - Índices de conforto térmico: limitações e variações de classificação. *8 .º Congresso Luso-brasileiro para o planeamento urbano, regional, integrado e sustentável (Pluris 2018)*. Cidades e Territórios- Desenvolvimento, atratividade e novos desafios. Coimbra
- Cadima P. (2000) – *Transitional Spaces, Architectural*. Architectural Association Graduate School. London
- CML (2017) - *Estratégia Municipal de Adaptação às Alterações Climáticas de Lisboa*(EMAAC). Câmara Municipal de Lisboa. Fevereiro, 2017
- CML (2017) – *Plano de Pormenor da Calçada das Lajes*. Divisão de Planeamento Territorial. Lisboa
- De Freitas C. (1985) – *Assessment of human bioclimate based on thermal response*. *International Journal of Biometeorology*, 29 (2): 97-119

- Fallot J., Alcoforado MJ. (1988) – Mesures de l'influence de l'îlot de chaleur de Lisbonne sur les écoulements régionaux en été. *Actes des Journées de Climatologie – Mont-Rigi*. Presses Universitaires de Liège: 57-74.
- Fanger P. (1972) – *Thermal Comfort*. McGraw-Hill. Nova York
- FERRAZ J. (1945) - *Meteorologia Brasileira. Esboço elementar de seus principais problemas*. Biblioteca Pedagógica Brasileira, Série V. Vol. XXXIII. 2ª ed., 1945.
- Fiala D., Havenith G., Bröde, P., Kampmann B., Jendritzky G. (2011) - UTCI-Fiala multinode model of human heat transfer and temperature regulation; *International Journal of Biometeorology*, 56 (3) :429-441.
- Garcia F. (1996) – *Manual de Climatología Aplicada. Clima, medio ambiente y planificación*. Ed. Sintesis, S.A., Madrid.
- Höppe P. (1988) – Comfort Requirements in Indoor Climate. *Energy and Buildings* 11: 249-257
- Höppe P. (1993) – Heat balance modelling. *Experientia*, 49, 9: 741-747
- Höppe P. (1997) – Aspects of human biometeorology in past, present and future. *International Journal of Biometeorology*, 40: 19-23.
- Höppe P. (1999) - The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *International Journal of Biometeorology*, 43(2): 71-75.
- Huttner S., Bruse M., Dostal P. (2008) - Using ENVI-met to simulate the impact of global warming on the microclimate in central European cities. *Berichte des Meteorologischen Instituts der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg* Nr. 18 (2008):

Helmut Mayer and Andreas Matzarakis (eds.): *5th Japanese-German Meeting on Urban Climatology*, October 2008, 307-312

Huttner S. (2012) - *Further development and application of the 3D microclimate simulation ENVI-met*. Dissertation zur Erlangung des Grades "Doktor der Naturwissenschaften" im Promotionsfach Geographie am Fachbereich Chemie, Pharmazie und Geowissenschaften der Johannes Gutenberg-Universität in Mainz

IPCC (2013) - *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2013

IPCC (2014) - *Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects*. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: 2014a

IPMA (2018) – Índice UTCI.

<https://www.ipma.pt/pt/enciclopedia/amb.atmosfera/index.bioclima/?page=utci.xml>, consultado 24/11/2018

Jauregui E. (1997) – The Last Ms for 40th anniversary issue. Aspects of urban human biometeorology. *International Journal of Biometeorology*, 40: 58-61

Jendritzky, G., Havenith G., Weihs P., Batchvarova E. (2005) - COST Action 730 on the Universal Thermal Climate Index UTCI, Proceedings 17th Int. Congress Biometeorology ICB 2005, Ann. d. Met., DWD Offenbach. 41, Vol. 1, :309-312

Kalkstein S., Valimont K. (1986) – An evaluation of summer discomfort in the United States using a relative climatological index. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 67 (7): 842-8

- Landsberg H. (1981) - *The urban climate*. Academic Press. New York.
- Lopes A. (2003) – *Modificações no Clima de Lisboa como Consequência do Crescimento Urbano: Vento, Ilha de Calor de Superfície e Balanço Energético*. Doutoramento em Geografia Física. Universidade de Lisboa
- Lopes A. (2009) - O Sobreaquecimento das cidades: causas e medidas para a mitigação da Ilha de Calor de Lisboa. *Territorium*, v.15: 39-52
- Lopes A., Alves E., Alcoforado MJ., Machete, R. (2013) - Lisbon Urban Heat Island Updated: New Highlights about the Relationships between Thermal Patterns and Wind Regimes. *Advances in Meteorology*, Article ID 487695, 11 pages
- MAOTE (2015) – *Cidades Sustentáveis*. Anexo I – Diagnóstico Territorial. Ministério do Ambiente e Ordenamento do Território
- Matias M. (2018) - *O Balanço Radiativo de um Conjunto de Edifícios em Telheiras com Recurso a Termografia Infravermelha*. Dissertação de Mestrado em Geografia Física e Ordenamento do Território. Instituto de Geografia e Ordenamento do Território. Universidade de Lisboa
- Matzarakis A., Amelung B. (2008) – Physiological Equivalent Temperature as indicator for impacts of climate change on thermal comfort of humans. In Thomson et Al (Eds.). *Seasonal Forecasts, Climate Changes and Human Health*: 161-172.
- Mayer H. (1993) - Urban Bioclimatology. *Experientia*, 49: 957-963
- MCT (1999) – *Latitudes e Longitudes*. Unidade de Ciência Viva. Ministério da Ciência e Tecnologia. Lisboa
- Monteiro L., Alucci M. (2007) – Questões teóricas de conforto térmico em espaços abertos: consideração histórica, discussão do estado da arte e proposição de classificação de modelos. *Ambiente Construído*, 3: 43-58.

- Mora C. (1998) - *Aspectos do clima local da Arrábida*. Dissertação submetida à Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa para obtenção do grau de Mestre em Geografia Física e Ambiente.
- Morais L. (2011) – *Distribuição Espacial da Mortalidade em Lisboa Associada às Temperaturas Elevadas, com Recurso a Sistemas de Informação Geográfica*. Dissertação de Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Modelação Territorial Aplicados ao Ordenamento. Instituto de Geografia e Ordenamento do Território. Universidade de Lisboa.
- Neto J. (2005) - *Estudo da Circulação Atmosférica de Verão sobre a Região de Lisboa Interacção entre a Brisa de Mar, os Efeitos de Ilha Urbana, a Orografia e a Presença do Estuário*. Dissertação submetida à Universidade de Évora para obtenção do grau de Mestre em Clima e Ambiente Atmosférico Área de Meteorologia, Clima e Alterações Climáticas
- Nascimento J. (2018) - *Um WebSIG para a monitorização do conforto térmico em ambiente urbano*. Dissertação de Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Modelação Territorial Aplicados ao Ordenamento. Instituto de Geografia e Ordenamento do Território. Universidade de Lisboa
- Nouri A., Lopes A., Costa J., Matzarakis A. (2018) - *Confronting potential future augmentations of the physiologically equivalent temperature through public space design: The case of Rossio, Lisbon*. Sustainable Cities and Society 37: 7-25
- Oke T. (1995) - The Heat Island Characteristics of the Urban Boundary Layer: Characteristics, Causes and Effects. In Cermak, J.E. et al. (Eds.) *Wind Climate in Cities*, Kluwer Academic: 81-107.
- Oke T. (1987) – *Boundary Layer Climates*. Routledge. London.

- Parsons K. (1993) – *Human thermal environments*. Taylor & Francis. London
- Ribeiro P. (2011) – *Queda de árvores motivada por ventos fortes em Lisboa*. Dissertação de Mestrado em Geografia Física e Ordenamento do Território. Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa
- Rohles F. (1974) – The measurement and prediction of thermal comfort. *ASHRAE Transactions*, 80 (2): 90-114
- Rosheidat A., Bryan H., Hoffman D. (2008) - Using envi-met simulation as a tool to optimize downtown phoenix's urban form for pedestrian Comfort. *American Solar Energy Society - SOLAR 2008*, Including Proc. of 37th ASES Annual Conf., 33rd National Passive Solar Conf., 3rd Renewable Energy Policy and Marketing Conf.: Catch the Clean Energy Wave
- Rossi F., Krüger E., Bröde P. (2012) - Definição de faixas de conforto e desconforto térmico para espaços abertos em Curitiba, PR, com o índice UTCI. *Ambiente Construído*. Porto Alegre. V. 12, n. 1, 41-59
- Rozolen R. (2011) - *Métodos de avaliação do Conforto Térmico Humano*. Universidade de São Paulo
- Salgueiro, T. (2001) – *Lisboa. Periferia e Centralidades*. Oeiras. Celta
- Simpson J. (1994) - *Sea breeze and local winds*. Cambridge. Cambridge University Press
- Vasconcelos J., Lopes A. (2005) - A influência da morfologia urbana na modificação das brisas do estuário do Tejo na zona oriental de Lisboa. *X Coloquio Ibérico de Geografia*. Universidade de Évora, Portugal, 1–12
- Vasconcelos J. (2006) – *Avaliação climática para o planeamento urbano de Lisboa: Influência do crescimento urbano no sistema de brisas do estuário do Tejo*.

Dissertação do Mestrado em Ordenamento do Território e Planeamento Ambiental. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade Nova de Lisboa

VDI (1998) – *Environmental meteorology, methods for the human-biometeorological evaluation of climate and air quality for urban and regional planning at regional level*. Dusseldorf, VDI-Verlag.

86

